



TUGAS AKHIR - RE141518

STUDI KINERJA BIOFILTER AEROB UNTUK MENGOLAH AIR LIMBAH *LAUNDRY*

Eko Pamungkas
NRP 3311100013

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Joni Hermana MScES, PhD

Dosen Co.Pembimbing
Ir. Agus Slamet, Dipl SE, MSc

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - RE141518

STUDY OF LAUNDRY WASTEWATER TREATMENT USING BIOLOGICAL AERATED FILTER (BAF)

**Eko Pamungkas
NRP 3311100013**

**Supervisor
Prof. Ir. Joni Hermana MScES, PhD**

**Co.Supervisor
Ir. Agus Slamet, Dipl SE, MSc**

**ENVIRONMENTAL ENGINEERING DEPARTMENT
Civil Engineering and Planning Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI KINERJA BIOFILTER AEROB UNTUK MENGOLAH AIR LIMBAH LAUNDRY

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

EKO PAMUNGKAS
NRP 3311100013

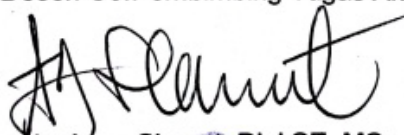
Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Ir. Joni Hermana, MScES, PhD
NIP. 19600618 198803 1 002

Dosen Co.Pembimbing Tugas Akhir



Ir. Agus Slamet, Dipl.SE, MSc.
NIP. 19590811 198701 1 001



STUDI KINERJA BIOFILTER AEROB UNTUK MENGOLAH AIR LIMBAH *LAUNDRY*

Nama : Eko Pamungkas
NRP : 3311100013
Jurusan : Teknik Lingkungan, FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Joni Hermana, MScES, PhD
Dosen Co. Pembimbing : Ir. Agus Slamet, Dipl SE, MSc

Abstrak

Usaha *laundry* merupakan usaha pencucian pada pakaian. Kotoran pada pakaian dibersihkan dengan deterjen. Deterjen merupakan zat kimia sintesis yang difungsikan sebagai zat pembersih (pengangkat kotoran) pakaian. Air limbah *laundry* sebagian besar langsung dibuang pada badan air atau sungai, sehingga akan mencemari lingkungan. Perlu adanya suatu unit pengolahan sederhana untuk menurunkan kandungan deterjen dan polutan pada limbah *laundry*, salah satunya adalah menggunakan biofilter aerobik.

Setelah melakukan studi literatur kemudian melakukan penelitian dalam skala laboratorium dengan menggunakan reaktor yang telah direncanakan. Desain reaktor terdiri dari bak pengendap awal, filter aerobik dan bak pengendap akhir. Sebelum reaktor digunakan dalam mengolah limbah *laundry*, dilakukan *seeding* dan aklimatisasi pada media secara bertahap. Parameter yang diteliti pada penelitian ini adalah COD, fosfat, TSS, kekeruhan dan deterjen. Variabel pada penelitian ini adalah jenis media dan waktu detensi. Media yang digunakan adalah pecahan genteng dan *bioball*, sedangkan waktu tinggal yang digunakan adalah 24 jam dan 48 jam.

Hasil penelitian menunjukkan penurunan parameter menggunakan waktu tinggal 48 jam lebih baik daripada waktu tinggal 24 jam. Pada waktu tinggal 48 jam media *bioball* penurunan COD, fosfat, deterjen, TSS dan kekeruhan berturut-turut adalah 89,24%; 83,67%; 99,32%; 92,63% dan 98,97%. Untuk media pecahan genteng waktu tinggal 48 jam penurunan COD, fosfat, deterjen, TSS dan kekeruhan berturut-turut adalah 93,09%; 87,14%; 99,43%; 87,16%; 98,57% dan 98,57%.

Kata kunci : air limbah *laundry*; biofilter aerobik; *bioball*; pecahan genteng

- halaman ini sengaja dikosongkan -

STUDY OF LAUNDRY WASTEWATER TREATMENT USING BIOLOGICAL AERATED FILTER (BAF)

Name : Eko Pamungkas
NRP : 3311100013
Department : Environmental Engineering, FTSP-ITS
Supervisor : Prof. Ir. Joni Hermana, MScES, PhD
Co. Supervisor : Ir. Agus Slamet, Dipl SE, MSc

Abstract

Laundry industry is industry which using washing machine to clean the cloth. Washing machine needed detergents as cleaning agent. Detergents are synthetic chemicals which is use for cleaning agent for clothes. Laundry wastewater largely disposed directly to the river which containing detergents and pollutants that would be polluted the environment. So we need a simple processing unit to reduce content of pollutants in the laundry wastewater, one of them is BAF.

After reviewing some literature and then conduct research in laboratory scale using a reactor that had been planned. Design of the reactor consists of pre-sedimentation, aerobic filter and final sedimentation. Before the reactors used in processing of wastewater, seeding and acclimatization phase to medium are first must be done. Parameters examined in this study are COD, phosphate, TSS, turbidity and detergent. The variable in this research are type of media and detention time. The medium are roof-tile fragments and bioballs, while detention time are 24 hours and 48 hours.

The results showed by using 48-hour detention time removal parameters are more higher than using 24-hour detention time. In 48-hour detention time using media bioballs removal COD, phosphate, detergents, TSS and turbidity consecutively are 89,24%; 83,67%; 99,32%; 92,63% and 98,97%. Meanwhile using roof-tile fragments with 48-hour detention time removal COD, phosphate, detergents, TSS and turbidity consecutively are 93,09%; 87,14%; 99,43%; 87,16%; 98,57% and 98,57%.

Keywords: laundry wastewater; aerobic filter; bioballs; roof-tile fragments

- halaman ini sengaja dikosongkan -

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Kinerja Biofilter Aerob untuk Mengolah Air Limbah Laundry**” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan – Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Papa dan Ibu saya beserta Keluarga, yang telah memberikan banyak dukungan
2. Bapak Prof. Ir. Joni Hermana, MScES, Phd., selaku Dosen Pembimbing
3. Bapak Ir. Agus Slamet, Dipl SE, MSc., selaku Dosen Co. Pembimbing, atas dukungan dan bimbingan yang telah diberikan
4. Bapak Ir. Eddy Setiadi, Dipl SE, MSc, PhD., Ibu Alia Damayanti ST, MT, PhD., dan Bapak Welly Herumurti ST, MSc., Dr Ali Masduqi, ST, MT., selaku Dosen Penguji Tugas Akhir, atas saran dan kritik yang diberikan
5. Ibu pengusaha *laundry* di Gebang, yakni “KLINIK Laundry” dan “FAN 2 Laundry”, atas kerjasama yang diberikan
6. Ibu Hurun In, selaku laboran Laboratorium Sanitasi Lingkungan dan Fitoteknologi (Lasilfi), atas kerja sama yang diberikan
7. Bapak Hadi, selaku Laboran Laboratorium Pemulihan Air, atas kerja sama yang diberikan
8. Teman-teman se Dosen-Pembimbing Amal, Bebi, Farid, Hajar, Priscil, atas diskusi dan masukannya
9. Tim Tugas Akhir pengolahan limbah *Laundry* Dewi, Sovi, Rasti, atas kerjasamanya dalam mengambil air limbah
10. Jimmi, Dewi, Arga, Putra, Chandra, Puteri, Etik yang telah membantu sedikit mengoreksi dan memberi masukan pada laporan ini
11. Teman-teman Teknik Lingkungan ITS Angkatan 2011, atas bantuan dan dukungannya
12. Teman-teman UKM Badminton ITS, khususnya pada Mas Afry, Mas Raga, Mas Ipin, Arga, Tio, Dyra, Hadzik, Chandra,

Mas Anom, terima kasih atas waktu, latihan dan pengalamannya selama saya berada di UKM

13. Segenap Bapak dan Ibu Guru dan teman-teman saya sebelum saya menempuh pendidikan kuliah di ITS, sekali lagi saya mengucapkan banyak terima kasih.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat menghargai saran dan kritik yang akan diberikan. Besar harapan penulis agar laporan ini bermanfaat bagi pembaca, dunia pendidikan dan penelitian.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kegiatan <i>Laundry</i>	5
2.2 Karakteristik Air Limbah <i>Laundry</i>	5
2.3 Karakteristik Deterjen.....	8
2.4 Karakteristik Biofilter.....	9
2.5 Pengolahan Air Limbah dengan Biofilter.....	10
2.6 Definisi Bakteri.....	12
2.7 Penempelan Bakteri pada Permukaan Padat.....	13
2.8 Definisi Biofilm.....	14
2.9 Unit <i>Biological Aerated Filter</i> (BAF).....	17
2.10 Pemilihan Media Biofilter.....	18
2.11 Mekanisme Pengolahan Aerob.....	19
2.12 Pertumbuhan Mikroorganisme.....	19
2.13 Penelitian-penelitian Terkait Biofilter.....	20
2.14 Penelitian Terkait Pengolahan Air Limbah <i>laundry</i>	21
2.15 COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>).....	22
2.16 Fosfor dan Fosfat.....	23
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Kerangka Penelitian.....	25
3.2 Tahapan Penelitian.....	25
3.3 Ide Penelitian.....	27
3.4 Studi Literatur.....	27
3.5 Variabel Penelitian.....	27
3.6 Persiapan Alat dan Bahan.....	28
3.7 Uji Kapasitas Reaktor.....	30
3.8 Uji HRT - <i>Hydraulic Retention Time</i>	30

3.9 Uji Porositas Media.....	30
3.10 Analisis Kandungan Air Limbah <i>Laundry</i>	30
3.11 Tahap <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi Media	30
3.12 Pelaksanaan Penelitian Utama	31
3.13 Analisis Data dan Pembahasan	32
3.14 Kesimpulan dan Saran	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Uji Kapasitas Reaktor	33
4.2 Uji HRT - <i>Hydraulic Retention Time</i>	34
4.3 Uji Porositas Media.....	34
4.4 Analisis Kandungan Air Limbah <i>Laundry</i>	35
4.5 Tahap <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi Media	36
4.6 Pelaksanaan Penelitian Utama (<i>Runnig</i>)	39
4.6.1 Penurunan Kandungan COD	40
4.6.2 Penurunan Kandungan Fosfat	44
4.6.3 Penurunan Kandungan Deterjen	49
4.6.4 Perubahan Nilai pH	52
4.6.5 Penurunan Kandungan TSS	55
4.6.6 Penurunan Tingkat Kekeruhan.....	59
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran.	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Pencemar Air Limbah <i>Laundry</i>	7
Tabel 2.2 Kriteria Mutu Air Limbah Kegiatan <i>Laundry</i>	7
Tabel 2.3 Jenjang Taksonomi	12
Tabel 2.4 Senyawa Fosfor yang Sering Ditemukan	23
Tabel 3.1 Matriks Penelitian	27
Tabel 3.2 Uji Parameter dan Metode Uji	32
Tabel 4.1 Data Perhitungan Volume Rongga Media.....	34
Tabel 4.2 Kapasitas dan Debit Pengolahan Reaktor	35
Tabel 4.3 Karakteristik Kandungan Air Limbah <i>Laundry</i>	36
Tabel 4.4 Data Analisis Kandungan Bilangan Permanganat.....	39
Tabel 4.5 Data Hasil Analisis Kandungan COD	42
Tabel 4.6 Senyawa Fosfor yang Sering Ditemukan	44
Tabel 4.7 Data Hasil Analisis Kandungan Fosfat	46
Tabel 4.8 Data Hasil Analisis Kandungan Deterjen	51
Tabel 4.9 Data Hasil Analisis pH	52
Tabel 4.10 Data Hasil Analisis Kandungan TSS	56
Tabel 4.11 Data Hasil Analisis Kandungan Kekeruhan	60

-halaman ini sengaja dikhongkan-

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kegiatan Usaha <i>laundry</i> Skala Kecil.....	5
Gambar 2.2 Reaksi Pembentukan Detejen.	8
Gambar 2.3 Transpost dan Adsorpsi dari Molekul Organik pada Permukaan Benda Padat	13
Gambar 2.4 Transport Sel ke Permukaan Benda Padat dan Adsorpsi.....	14
Gambar 2.5 Pertumbuhan dan Perkembangbiakan Bakteri pada Permukaan Benda Padat	15
Gambar 2.6 Penempelan dan Pelepasan Bakteri	17
Gambar 2.7 Skema Aliran <i>Up Flow</i> dan <i>Down Flow</i> BAF	17
Gambar 2.8 Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme.....	20
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	26
Gambar 3.2 Denah Reaktor Biofilter Aerob	29
Gambar 3.3 Potongan A-A Reaktor Biofilter Aerob	29
Gambar 3.4 Rangkaian Alir Pengolahan	29
Gambar 4.1 Nilai Bilangan Permanganat ketika <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi Media <i>Bioball</i>	38
Gambar 4.2 Nilai Removal COD pada Reaktor	43
Gambar 4.3 Nilai Removal Fosfat pada Reaktor	48
Gambar 4.4 Gambar Dua Gugus pada Surfaktan.....	49
Gambar 4.5 Nilai Removal TSS pada Reaktor	58
Gambar 4.6 Lapisan Mikroorganisme pada Media Filter	58
Gambar 4.7 Nilai Removal Kekeruhan pada Reaktor	61

-halaman ini sengaja dikhongkan-

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk berdampak pada meningkatnya kebutuhan air bersih. Pola kehidupan penduduk yang modern yang menuntut serba praktis memicu pertumbuhan ekonomi masyarakat. Salah satu usaha kecil yang sangat sering dijumpai saat ini yaitu usaha pencucian pakaian atau sering disebut dengan *laundry*. Usaha *laundry* membutuhkan air bersih dalam jumlah yang cukup besar agar mesin cuci yang digunakan tidak mudah rusak.

Usaha *laundry* ini memberi manfaat yang cukup besar bagi perekonomian penduduk untuk mengurangi jumlah pengangguran dan dapat meningkatkan taraf hidup keluarga. Di sisi lain dengan meningkatnya jumlah pengusaha *laundry* skala kecil akan menimbulkan dampak negatif yaitu adanya timbunan air limbah yang dihasilkan dari sisa proses pencucian pakaian sehingga berpotensi untuk menimbulkan pencemaran lingkungan. Deterjen sebagai bahan pembersih utama yang digunakan pada usaha *laundry*, sangat potensial menimbulkan efek buruk terhadap lingkungan. Deterjen merupakan pembersih sintesis yang digunakan untuk membersihkan kotoran atau noda yang menempel pada pakaian. Menurut Connel dan Miller (1995) deterjen dapat menyebabkan penghambatan pertumbuhan pada tumbuhan dan ikan, menyebabkan kerusakan pada insang pada ikan. Kandungan surfaktan pada deterjen bersifat toksik akut pada habitat perairan.

Air bekas cucian (air limbah *laundry*) yang dihasilkan pada mesin *laundry* pada umumnya dibuang langsung ke badan air (sungai) sehingga dapat mengakibatkan penurunan kualitas air. Menurut EPA (1999) hal tersebut dapat menyebabkan eutrofikasi dimana badan air menjadi kaya akan nutrient terlarut, menurunkan kandungan oksigen terlarut dan kemampuan daya dukung badan air terhadap biota air. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan Kegiatan Usaha Lainnya, bahwasanya setiap usaha yang membuang air limbah ke badan sungai harus memenuhi baku mutu yang telah ditentukan.

Air limbah *laundry* mengandung kadungan organik sebagai COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan *Total Suspended Solid* (TSS) yang tinggi (Said, 2005). Kandungan organik lainnya dengan konsentrasi yang cukup tinggi adalah fosfat (Rakhmawati, 2012) dan deterjen (Nasir dan Budi, 2011). dan Deterjen yang digunakan pada limbah *laundry* umumnya merupakan deterjen dengan bahan aktif permukaan (surfaktan), bahan penunjang dan bahan aditif. Bahan baku surfaktan menempati porsi 20-30% sedangkan bahan penunjang sekitar 70-80% (Sawyer, dkk 1994). Peningkatan penggunaan deterjen akan membuat semakin banyak limbah yang dihasilkan yang kemudian menyebabkan pencemaran badan air yang mengganggu ekosistem badan air.

Salah satu upaya penanggulangan air limbah deterjen atau *laundry* adalah dengan menggunakan pengolahan biofilter aerobik. Biofilter aerobik merupakan suatu unit pengolahan limbah menggunakan mikroorganisme terlekat dimana pada unit tersebut akan disuplai kebutuhan oksigen secara kontinyu. Mikroorganisme yang tumbuh melekat pada media akan mendegradasi polutan organik seperti zat organik, fosfat dan polutan organik lainnya dengan kondisi cukup oksigen terlarut dalam air.

Pada penelitian ini akan akan diuji kemampuan biofilter aerobik menggunakan media pecahan genteng sebagai media yang murah, mudah didapat dan *bioball* sebagai media sintetis yang beredar di pasaran untuk menurunkan polutan pada limbah *laundry* dengan variasi waktu tinggal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa tingkat penurunan COD, fosfat, TSS, kekeruhan dan deterjen pada air limbah *laundry* menggunakan pengolahan biofilter aerob?
2. Bagaimana pengaruh jenis media biofilter dan waktu tinggal terhadap penurunan kandungan COD, fosfat, TSS, kekeruhan dan deterjen pada air limbah *laundry* menggunakan pengolahan biofilter aerob?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan tingkat penurunan COD, fosfat, TSS, kekeruhan dan deterjen pada air limbah *laundry* menggunakan pengolahan biofilter aerob.
2. Menganalisis pengaruh jenis media biofilter terhadap waktu tinggal pada penurunan kandungan COD, fosfat, TSS kekeruhan dan deterjen menggunakan biofilter aerob.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.
- Limbah *laundry* yang digunakan adalah dari usaha skala rumah tangga di sekitar kampus ITS.
- Variasi yang digunakan adalah media filter dan waktu tinggal.
- Media biofilter yang digunakan adalah pecahan genteng dan *bioball*.
- Aliran reaktor aerob yang digunakan adalah *up flow* dan *down flow*.
- Sistem aliran yang digunakan adalah aliran kontinyu.
- Parameter pengukuran kualitas air limbah meliputi :
 - o Parameter fisik : Kekeruhan dan TSS
 - o Parameter kimia : COD, fosfat, dan deterjen
 - o Parameter tambahan : pH
- Pengukuran parameter deterjen hanya dilakukan pada akhir penelitian di setiap variasi waktu tinggal yang digunakan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Memberikan informasi mengenai tingkat penurunan kandungan COD, fosfat, kekeruhan, TSS dan deterjen pada limbah *laundry* menggunakan biofilter aerob dengan variasi waktu tinggal dan jenis media filter.
- Memberikan alternatif pengolahan sederhana untuk mengurangi kandungan polutan pada air limbah *laundry* skala rumah tangga.
- Mengurangi beban pencemaran lingkungan akibat limbah *laundry*.

- halaman ini sengaja dikosongkan -

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kegiatan Laundry

Kegiatan *laundry* biasa disebut dengan kegiatan binatu atau pencucian dengan media utama air, deterjen/sabun dan mesin pencuci. Menurut Sukawati (2008) umumnya kegiatan *laundry* terdiri dari beberapa prosedur, yaitu :

1. Pengambilan cucian kotor

2. Penyortiran/pemisahan cucian kotor

Cucian disortir dengan tiga kategori umum yaitu berdasarkan tingkat kotoran (jenis), jenis kain (serat dan warna) dan proses (sesuai alat yang digunakan).

3. Pencucian

Laundry komersil umumnya memiliki mesin berkapasitas besar dan beragam jenis program. Tetapi pada dasarnya cara kerja mesin sama mengacu pada tahapan proses pencucian. Tahapan-tahapan tersebut antara lain :

1. *Flush* (pembasahan)

2. *Washing* (penyabunan)

3. *Carryover suds* (pembilasan awal)

4. *Bleaching*

5. *Sour/soft (final rinse)*

6. *Extract* (pemerasan)

Setelah proses pengeringan maka dilanjutkan proses pelipatan, umumnya *laundry* kecil dilakukan secara manual.



Gambar 2.1 Kegiatan Usaha *Laundry* Skala Kecil

Sumber : dokumentasi pribadi

2.2 Karakteristik Air Limbah Laundry

Meningkatnya jasa *laundry* saat ini, memungkinkan air limbah deterjen yang mengandung fosfat sebagai bahan

pembentuknya mempunyai kontribusi yang besar sebagai pencemar lingkungan (Rosariawari, 2010). Deterjen, khususnya surfaktan memiliki kemampuan yang baik dalam mengangkat kotoran, baik yang terlarut dalam air maupun yang tidak terlarut, salah satu ujung molekul surfaktan bersifat lebih suka minyak atau tidak suka air, akibatnya bagian ini mempenetrasi kotoran yang berminyak sedangkan ujung molekul surfaktan satunya, yang bersifat sebagai ekor lebih suka air sehingga bagian ini lah yang berperan mendispersikan kotoran dalam air (Turk dkk, 2005). Deterjen yang umum digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Deterjen untuk Bahan Pencuci

Sumber : [google.com](https://www.google.com)

Kandungan pencemar atau karakteristik air limbah *laundry* menurut penelitian-penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut :

1. Proses *laundry* yang berasal dari kegiatan rumah tangga dan hotel dapat mencemari badan air dengan kadar COD antara 600-2500 mg/L (Turk dkk, 2005).
2. Penelitian pendahuluan yang dilakukan oleh Rakhwamati (2012), bahwa karakteristik air limbah awal *laundry* mempunyai kadar COD 1256 mg/L dan fosfat 3.25 mg/L.
3. Menurut Said (2005) menyebutkan bahwa karakteristik air limbah pencucian *jeans* mempunyai kadar COD antara 400-1215 mg/L.
4. Hasil analisis laboratorium yang dilakukan oleh Nasir dan Budi (2011) air limbah *laundry* ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan Pencemar Air Limbah *Laundry*

Parameter	Satuan	Nilai
Total Dissolve Solid (TDS)	mg/L	283
Total Suspended Solid (TSS)	mg/L	79,6
pH	-	7,53
Besi	mg/L	n.a
Mangan	mg/L	0,0246
Sulfat	mg/L	27,381
Amonia bebas	mg/L	0,39
Klorida	mg/L	4,0
Flourida	mg/L	0,067
Nitrat	mg/L	1,08
Nitrit	mg/L	0,098
COD	mg/L	1365
BOD	Mg/L	418
Minyak dan lemak	mg/L	0,219
DHL	µs/cm	572
Kesadahan	mg/L	630
Deterjen	Mg/L	20,6

Sumber : Nasir dan Budi (2011)

Sedangkan untuk baku mutu air limbah *laundry* menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 pada Tabel 2.2.

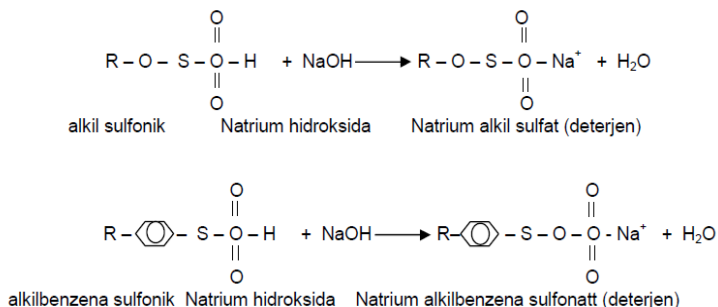
Tabel 2.2 Kriteria Mutu Air Limbah Kegiatan *Laundry*

BAKU MUTU AIR LIMBAH UNTUK KEGIATAN LAUNDRY	
Volume Air Limbah Maximum per satuan produk 16 liter/ kg cucian	
Parameter	Kadar Maximum (mg/l)
BOD ₅	100
COD	250
TSS	100
Minyak dan Lemak	10
MBAS (Detergent)	10
Fosfat (sebagai P ₂ O ₄)	10
pH	6-9

Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013

2.3 Karakteristik Deterjen

Menurut Connel dan Muller (1995) deterjen merupakan garam natrium dari asam sulfonat. Reaksi pembentukan deterjen seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Reaksi Pembentukan Deterjen

Sumber : Connel dan Muller (1995)

Surfaktan menahan gugus alkil yang diturunkan dari senyawa minyak bumi. Pada surfaktan anionik terdapat gugus alkil yang terdiri dari 9 sampai 15 atom karbon. Gugus alkil mengandung banyak struktur yang berbeda dan berpengaruh pada proses terjadinya degradasi. Adanya atom karbon kuarternar dalam rantai alkil dapat memperlambat terjadinya proses degradasi, karena sebuah atom hidrogen tidak tersedia bagi oksidasi-β. Percabangan rantai alkil menghasilkan pertambahan ketahanan terhadap proses biodegradasi. Sebaliknya gugus alkil rantai lurus relatif dapat mudah didegradasi. Hal inilah sehingga secara komersial dikembangkan surfaktan linier (ALS) yang biodegradabel.

Linier Alkyl Sulfonat (LAS) merupakan senyawa pengganti *Alkyl Benzene Sulfonat* (ABS) yang sifatnya sebagai pencemar dan sulit diurai oleh mikroorganisme di permukaan tanah. Pada deterjen LAS yang berfungsi sebagai bahan kimia pengaktif permukaan lebih ramah lingkungan dan memiliki tingkat efektifitas yang lebih tinggi untuk menghilangkan kotoran. Jenis surfaktan yang paling banyak digunakan dalam deterjen adalah tipe anionik dalam bentuk sulfat (SO_4^{2-}) dan sulfonat (SO_3^-). Peningkatan fungsi deterjen sebagai pembersih biasanya pabrik

menambahkan berbagai bahan lainnya seperti *builder*, parfum, pemutih, pewangi, pelembut, Natrium Silikat, penstabil, enzim, dan zat lainnya agar fungsinya semakin beragam. Namun zat aditif tersebut ada yang tidak bisa dihancurkan oleh mikroorganisme sehingga otomatis menyebabkan pencemaran lingkungan. Apabila air yang mengandung deterjen dibuang ke dalam air, maka proses pencemaran air mulai terdistribusi dan menyebabkan eutrofikasi sangat cepat. Hal ini akan menyebabkan kandungan oksigen dalam air berkurang dan otomatis ikan, tumbuhan laut, dan kehidupan air lainnya mati. Selain itu limbah detergen juga menyebabkan pencemaran tanah yang menurunkan kualitas kesuburan tanah yang mengakibatkan tanaman serta kehidupan tanah.

2.4 Karakteristik Biofilter

Biofilter adalah reaktor yang dikembangkan dengan prinsip mikroba tumbuh dan berkembang pada suatu media filter dan membentuk lapisan biofilm (*attached growth*) (Slamet dan Masduqi, 2000). Proses pengolahan air limbah dengan biofilter atau proses biofilm ini dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang di dalamnya diisi dengan media penyangga untuk pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Karena biofilter merupakan proses biologis maka kondisi lingkungan dalam biofilter harus dipertahankan pada tingkat tertentu untuk memungkinkan kelangsungan hidup mikroorganisme (Mann dkk, 2002).

Penggunaan reaktor biofilter memiliki beberapa keuntungan, yaitu pengoprasiannya mudah karena tidak diperlukan sirkulasi lumpur, lumpur yang dihasilkan relatif kecil 10-30% dari BOD yang dihilangkan, dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun tinggi, tahan terhadap fluktuasi jumlah air limbah maupun fluktuasi konsentrasi dan pengaruh suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil (Said, 2001).

Menurut Slamet dan Masduqi (2000), faktor-faktor yang mempengaruhi proses biofilter yaitu :

1. Pengaruh temperatur

Pengaruh temperatur memberikan efek yang berlawanan pada proses aerobik biofilm. Laju difusi nutrisi dan oksigen

akan naik seiring dengan kenaikan temperatur namun disisi lain laju kelarutan oksigen menurun. Temperatur memberikan pengaruh pada proses pertumbuhan biofilm. Pengaruh temperatur pada proses nitrifikasi telah dikaji bahwa pada *attached growth* dapat mencapai laju nitrifikasi. 70% pada range temperatur 25-30°C .

2. Pengaruh oksigen terlarut

Konsentrasi oksigen terlarut memberikan pengaruh pada laju pertumbuhan bakteri aerobik dalam pengolahan biologis. Kehadiran oksigen terlarut dalam jumlah yang cukup sangat diperlukan untuk proses oksidasi dan sintesis sel.

3. Pengaruh pH

Konsentrasi ion hidrogen (pH) pada umumnya memberikan pengaruh yang besar pada kecepatan pertumbuhan biomassa. Secara umum pH operasi untuk proses aerobik berkisar 6,5 – 7,2.

4. Pengaruh beban organik

Laju pengurangan zat organik dalam sistem pengolahan limbah secara biologis dikategorikan berdasarkan pada konsentrasi BOD yang ada di dalam air limbah. Berdasarkan beban (*low-rate treatment*) organiknya, pengolahan biofilter dibagi menjadi 2 yaitu dengan laju rendah dan pengolahan dengan laju cepat (*High-rate Treatment*).

2.5 Pengolahan Air Limbah dengan Biofilter

Menurut Said (2001), proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter dilakukan dalam kondisi aerobik, anaerobik maupun kombinasi keduanya. Proses aerobik dilakukan dengan kondisi adanya oksigen terlarut di dalam reaktor air limbah dan proses anaerobik dilakukan tanpa adanya oksigen dalam reaktor air limbah. Sedangkan proses kombinasi anaerob-aerob adalah gabungan proses keduanya.

Menurut Slamet dan Masduqi (2000), proses pembentukan dan kolonisasi biofilm diawali dengan produksi *slime* dan kapsul bakteri yang menempel pada permukaan media. Proses penempelan berlangsung sangat cepat dan bakteri *Z. ramigera* adalah sering kali pembentuk koloni awal. Pembentukan koloni oleh bakteri heterotrof lain seperti *Pseudomonas sp*, *Flavobacterium sp*, *Alcalligenes sp*, juga berjalan cepat. Setelah 5

hari, komposisi bakteri pada biofilm akan terdiri dari bermacam-macam kumpulan bakteri, jenis-jenis filamen yang dominan. Setelah periode waktu lebih lama dari satu minggu akan, ditumbuhi sedikit jamur seperti *fusarium*, *geotricum*, dan *sporotrichum* akan tampak, yang akan ikut berperan dalam penurunan kandungan BOD dalam air. Lapisan biofilm yang sudah matang atau terbentuk sempurna akan tersusun dalam tiga lapisan kelompok bakteri. Lapisan paling luar adalah sebagian besar berupa jamur, lapisan tengah adalah jamur dan alga, dan lapisan paling dalam adalah bakteri, jamur dan alga.

Sistem pada reaktor biofilter yang terdiri dari medium penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada medium, lapisan air limbah dan lapisan udara yang terletak diluar. Senyawa polutan yang ada di dalam air limbah misalnya senyawa organik (BOD, COD) ammonia, fosfor dan lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan atau biofilm biologis yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen terlarut di dalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Suplai oksigen akan pada lapisan biofilm dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan cara kontak dengan udara luar atau dengan menggunakan blower udara atau pompa resirkulasi.

Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan tersebut akan berada dalam kondisi aerobik sedangkan pada bagian dalam lapisan yang melekat pada medium akan berada pada kondisi aerobik. Pada kondisi aerobik akan terbentuk gas H_2S dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar maka gas H_2S yang terbentuk tersebut akan diubah menjadi sulfat oleh bakteri sulfat yang ada dalam biofilm, selain itu pada zona aerobik nitrogen-ammonium (NH_4) akan diubah menjadi nitrit (NO_2) dan nitrat (NO_3) yang selanjutnya pada zona anaerobik mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen (N_2).

Menurut Said (2005), jika biofilter sudah stabil/matang, biomassa bakteri akan bertambah secara stabil dan lapisan bakteri yang menutupi permukaan media menjadi tebal. Sejalan dengan bertambah tebalnya lapisan, hanya bakteri yang berada

dilapisan paling luar yang bekerja secara maksimal. Lapisan bagian dalam akan bersifat anaerobik dan akan kehilangan gaya adhesi terhadap substrat dan akan terlepas.

2.6 Definisi Bakteri

Menurut Gorbach (1990) bakteri adalah kelompok organisme yang tidak memiliki membran inti sel. Organisme ini termasuk ke dalam domain prokariota dan berukuran sangat kecil (mikroskopik). Bakteri memiliki peran besar dalam kehidupan, beberapa kelompok bakteri dikenal sebagai agen penyebab infeksi dan penyakit, sedangkan kelompok lainnya dapat memberikan manfaat dibidang pangan, pengobatan, dan industri. Bakteri dapat ditemukan di hampir semua tempat seperti di tanah, air, udara, dalam simbiosis dengan organisme lain maupun sebagai agen parasit (patogen), bahkan dalam tubuh manusia.

Menurut Characklis dan Marshal (1990) klasifikasi bakteri dapat didefinisikan sebagai penyusunan organisme ke dalam kelompok taksonomi (taksa) berdasarkan kemiripan atau hubungannya (sifat-sifat biokimia, fisiologik, genetik dan morfologik). Penamaan suatu organisme melalui aturan internasional menurut ciri khasnya.

Tabel 2.3 Jenjang Taksonomi

Jenjang Resmi	Contoh
Dunia	Prokariota
Divisi	Gracilicutes
Kelas	Skotobakteri
Ordo	Eubakteriales
Famili	Enterobakteriaceae
Genus	<i>Escherichia</i>
Spesies	<i>Coli</i>

Sumber : Characklis dan Marshal (1990)

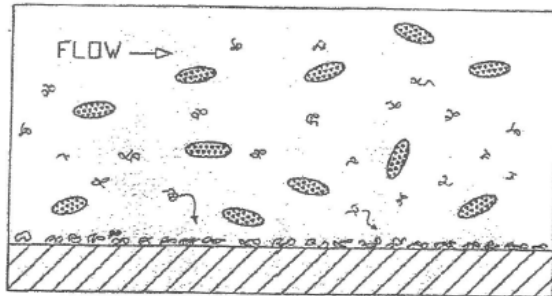
Pada tahun 1980, *International Committee on Systematic Bacteriology* menerbitkan daftar nama bakteri yang diakui. Daftar ini berisi kira-kira 2500 spesies. Penambahan nama-nama dan perubahan lain dipublikasikan di dalam *International Journal of Systematic Bacteriology*.

2.7 Penempelan Bakteri pada Permukaan Padat

Menurut Dewanti (1997) yang dikutip dari buku yang berjudul *Biofilm* (Characklis dan Marshall, 1990) bakteri dapat menempel pada permukaan benda padat melalui beberapa tahap. Beberapa tahap tersebut antara lain :

a. Adsorpsi senyawa organik oleh permukaan padat

Pada tahap ini molekul organik akan ditransport dari cairan ke permukaan benda padat. Dimana beberapa dari molekul tersebut akan diadsorpsi oleh permukaan yang kemudian akan menyebabkan kondisi permukaan memungkinkan untuk penempelan bakteri (Gambar 2.3).



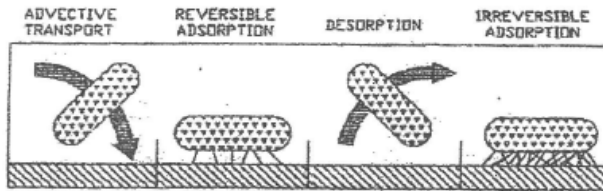
Gambar 2.3 Transport dan Adsorpsi dari Molekul Organik pada Permukaan Benda Padat

Sumber : Characklis dan Marshall (1990)

Adsorpsi senyawa organik oleh suatu permukaan padat dapat terjadi bila permukaan tersebut bersentuhan langsung dengan cairan, yang dapat terjadi segera setelah kontak antara keduanya berlangsung. Senyawa organik yang teradsorpsi oleh permukaan dan mampu memodifikasi sifat permukaan adalah glikoprotein. Beberapa makromolekul yang teradsorpsi menghambat penempelan bakteri sedangkan beberapa makromolekul lainnya memiliki efek yang kecil pada penempelan bakteri.

b. Transport bakteri ke permukaan

Pada tahap ini beberapa sel planktonik mikroba akan berpindah dari cairan ke permukaan benda padat dimana permukaan tersebut sudah memiliki kondisi yang memungkinkan untuk penempelan adsorpsi senyawa organik (Gambar 2.4).



Gambar 2.4. Transport Sel ke Permukaan Benda Padat, dan Adsorpsi, Desorpsi, dan *Irreversible Adsorption* dari Sel ke Permukaan.

Sumber : Characklis dan Marshall (1990)

Bakteri berflagela cenderung bergerak untuk mencapai makanan yang dibutuhkannya, sehingga terjadi transpor bakteri dari suspensi ke permukaan benda padat. Peristiwa ini mengawali terjadinya penempelan ke permukaan yang bersifat dapat balik.

c. Adsorpsi Bakteri oleh Permukaan

Pada tahap ini sel planktonik teradsorpsi ke permukaan untuk jangka waktu yang terbatas dan kemudian lepas kembali ke suspensi cairan. Tahap ini disebut penempelan dapat balik atau *reversible adsorption* (Gambar 2.4).

d. Pelepasan Sel Awal

Bakteri yang teradsorpsi secara dapat balik mudah sekali berpindah ke fase cair. Pelepasan sel dari permukaan padat dapat terjadi dikarenakan adanya tekanan dari laju aliran fluida di suspensi dan beberapa faktor fisik, kimia dan biologi. (Gambar 2.4).

2.8 Definisi Biofilm

Menurut Dewanti dan Wong (1995) biofilm adalah sekelompok mikroorganisme yang terimobilisasi (menempel) pada permukaan padat oleh senyawa ekstraseluler yang diproduksi oleh mikroorganisme yang terlibat. Ketahanan bakteri terhadap senyawa kimia, dehidrasi, kekurangan nutrisi akan lebih baik bila terdapat dalam bentuk biofilm dibandingkan dengan sel bakteri yang tumbuh dalam fase cair (sel planktonik). Faktor yang mempengaruhi pembentukan biofilm diantaranya adalah jenis permukaan asal isolat, kondisi media pertumbuhan dan kondisi anaerobik.

Faktor yang bertanggung jawab terhadap penempelan beberapa jenis di sel epitel adalah karbohidrat. *Lactobacillus*

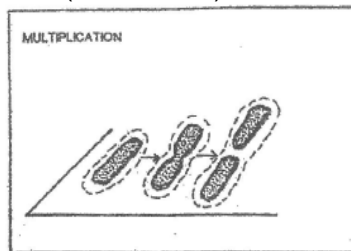
menempel pada dinding usus melalui zat ekstraseluler yang mengandung polisakarida, protein dan lipid.

a. Pembentukan biofilm

Sel bakteri yang menempel secara tidak dapat balik pada permukaan padat akan tumbuh dan membentuk biofilm. Akumulasi biofilm pada permukaan padat terjadi berdasarkan dua tahap :

1. Pertumbuhan sel dan pembentukan Polisakarida Ekstraseluler (PSE) sehingga sel biofilm terakumulasi.
2. Setelah terbentuk akumulasi, bisa terjadi pelepasan atau penempelan kembali.

Characklis dan Marshall (1990), mendefinisikan biofilm sebagai sekumpulan mikroba yang menempel dan tumbuh pada permukaan benda padat dan terperangkap di dalam PSE yang diproduksinya sendiri. Definisi lain menyatakan bahwa biofilm adalah komunitas mikroba dua dimensi pada perbatasan antara fase cair dan fase padat (bentuk umum, yang memungkinkan terjadi pada kondisi heterogen berdasarkan gradien yang berkembang di dalamnya. Disamping itu dikenal pula istilah sel planktonik yaitu sel-sel yang hidup pada fase cair. Beberapa bakteri berkoloni utama yang lain akan tetap menempel pada permukaan benda padat beberapa tidak mengalami pertumbuhan maupun berkembang biak, sedangkan bakteri biofilm akan tumbuh dan berkembang biak. Sumber yang sama juga melaporkan bila sel bakteri yang menempel pada tahap tidak dapat balik akan tumbuh dan membentuk biofilm (Gambar 2.5).

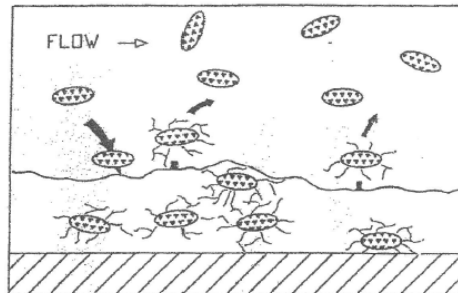


Gambar 2.5. Pertumbuhan dan Perkembangbiakan Sel Bakteri yang Menempel pada Permukaan Benda Padat.
Sumber : Characklis dan Marshall (1990)

Biofilm akan tumbuh dan berkembang serta memproduksi senyawa ekstraseluler, bila kondisi lingkungan memungkinkan. Bila sel bakteri tumbuh dan membentuk PSE serta mampu menarik bakteri lainnya untuk bergabung dengan kelompok yang sudah menempel, maka bisa terakumulasi sel biofilm yang terdiri dari beberapa lapisan. Bakteri yang berada di bagian dalam akan terlindung oleh lapisan yang lebih luar. Komunitas ini juga dapat memenuhi kebutuhan nutriennya sendiri karena sel-sel yang mati dapat berfungsi sebagai nutrisi bagi sel yang masih hidup.

b. Pelepasan sel biofilm

Sel penyusun biofilm dapat mengenalkan diri, dimana sel-sel bakteri yang telah terakumulasi akan berpindah ke medium cair atau suspensi (Gambar 2.6). Pelepasan sel ini menyebabkan terurainya komponen pembentuk biofilm sehingga dapat mengkontaminasi bagian lain dari sistem.



Gambar 2.6. Penempelan dan Pelepasan dari Sel Bakteri maupun Beberapa Partikel Lain dan Bentuk dari Biofilm

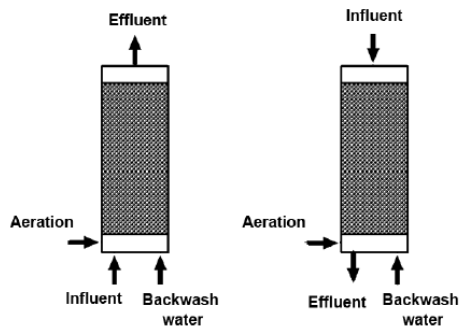
Sumber : Characklis dan Marshall (1990)

Pelepasan dapat diartikan sebagai proses lepasnya material dari biofilm, sedangkan *desorbition* diartikan sebagai proses lepasnya sel dan material lainnya dari permukaan. Pelepasan dapat dibedakan menjadi *erosion* atau *sloughing*. *Erosion* adalah lepasnya partikel kecil dari biofilm secara kontinyu, sedangkan *sloughing* adalah lepasnya pecahan besar biofilm secara acak.

2.9 Unit *Biological Aerated Filter* - BAF

Menurut Hasan dkk (2009), *Biological Aerated Filter* (BAF) adalah salah satu pengolahan biologis dalam sistem pengolahan air limbah. Sistem unit ini terdiri dari media tumbuh mikroorganisme yang tenggelam yang dilengkapi dengan sistem aerasi. Keuntungan dari *Biological Aerated Filter* (BAF) ini diantara unit pengolahan air limbah yang lainnya adalah merupakan reaktor yang fleksibel (membutuhkan tempat yang tidak terlalu besar), dapat memisahkan partikel padatan, menurunkan kandungan organik dan kontruksinya yang mudah.

Konfigurasi aliran yang digunakan pada *Biological Aerated Filter* (BAF) terdapat 2 jenis yaitu aliran *up flow* dan *down flow* (Gambar 2.7). *Up flow* BAF, air limbah mengalir dari bagian bawah reaktor, sedangkan *down flow* BAF air limbah di alirkan melalui atas reaktor.



Gambar 2.7 Skema Aliran *Up Flow* BAF dan *Down Flow* BAF
Sumber : Hasan dkk (2009)

Sistem aerasi yang digunakan pada *Biological Aerated Filter* (BAF) dilakukan dari tengah maupun bagian dasar reaktor. Sistem BAF dengan suplai oksigen yang baik akan sangat menguntungkan untuk bakteri nitrifikasi (mereduksi ammonia). Secara umum konsentrasi oksigen terlarut air limbah pada unit BAF antara 2-3 mg/L O_2 .

Menurut Bernard dan Stensel (2012), desain pada BAF memiliki kriteria sebagai berikut :

- BOD loading rate \rightarrow 250-300 ppd/1000cf
- HLR (*hydraulic loading rate*) \rightarrow 2-4 gpm/sf
- Menggunakan *fine bubble aeration*.

- $\text{NH}_4\text{-N}$ loading rate \rightarrow 60-90 ppd/1000cf
- Hanya terjadi nitrifikasi.

Menurut Bernard dan Stensel (2012), keuntungan menggunakan BAF adalah sebagai berikut :

- Dapat menggunakan tempat minimum.
- Operasi yang sangat simpel.
- Tidak menggunakan bak pengendap lumpur.
- Tidak terdapat *bulking sludge*.
- Fasilitas pengolahan yang menarik.

sedangkan kelemahan BAF adalah sebagai berikut :

- Perlengkapan lebih kompleks.
- Memerlukan instrument alat yang bagus.
- Operator harus memiliki kemampuan.
- Boros atau biaya operasi besar.
- Mudah terjadi penyumbatan ketika SS influen tinggi.

2.10 Pemilihan Media Biofilter

Menurut Hasan dkk (2009), media filter adalah salah satu komponen utama pada unit *Biological Aerated Filter* (BAF). Media filter akan mempengaruhi sistem hidrolik pada transfer substrat maupun oksigen dalam unit. Pemilihan jenis media filter sangat diperhatikan dalam desain dan proses *Biological Aerated Filter* (BAF), karena media filter akan menentukan kualitas efluen yang akan diinginkan. Dalam sistem *Biological Aerated Filter* (BAF) terdapat 2 jenis media yang digunakan. Pertama adalah *floating-media* atau media yang terapung, biasanya media ini terbuat dari plastik sintetis. Kemudian jenis media yang kedua adalah *sunken-media* atau media yang terendam, media ini terbuat dari batu-batuan, keramik dan sebagainya,

Pemilihan media filter dapat didasarkan atas tipe media, ukuran media dan bentuk media. Untuk pemilihan tipe media, media terapung sangat menguntungkan karena sangat baik untuk penurunan SS (*suspended solids*), COD dan ammonia. Media terapung juga sangat resisten terhadap perubahan suhu dan memiliki kecepatan *backwash* yang kecil. Untuk media yang tenggelam baik untuk meremoval TKN dan COD. Keuntungan dari media yang tenggelam adalah tahan terhadap beban

ammonium yang tinggi dan mempunyai removal ammonia yang baik.

Ukuran media akan mempengaruhi dalam removal SS, kandungan organik maupun anorganik. Media yang ukurannya lebih kecil akan memiliki luas permukaan yang besar sehingga akan menyediakan tempat lebih banyak bagi biofilm. Ukuran media yang kecil akan memiliki debit *backwash* yang rendah.

Bentuk media yang kasar akan mempengaruhi sistem kinerja *Biological Aerated Filter* (BAF). Media yang kasar akan mempercepat pertumbuhan dan penempelan biofilm. Media yang berbentuk acak akan meningkatkan efisiensi removal sistem *Biological Aerated Filter* (BAF) daripada menggunakan bentuk media yang teratur.

2.11 Mekanisme Pengolahan Aerob

Menurut Said (2001), berbeda dengan proses anaerob, beban pengolahan pada proses aerob lebih rendah, sehingga prosesnya ditempatkan sesudah proses anaerob. Pada proses aerob hasil pengolahan dari proses anaerob yang masih mengandung zat organik dan nutrisi diubah menjadi sel bakteri baru, hidrogen maupun karbondioksida oleh sel bakteri dalam kondisi cukup oksigen.

Sistem penguraian aerob umumnya dioperasikan secara kontinyu. Persamaan umum reaksi penguraian secara aerob adalah sebagai berikut :

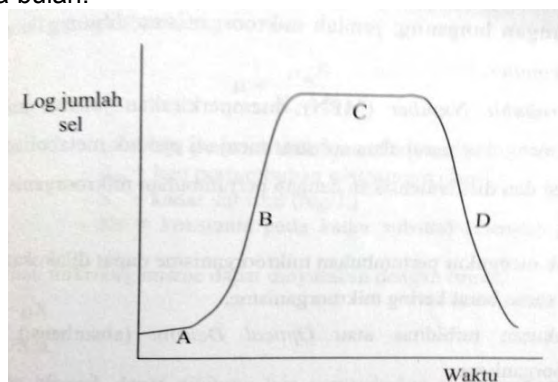
Bahan organik + O₂ (dengan bantuan mikroba aerob) → CO₂ + H₂O + sel baru + energi untuk sel + produk akhir lainnya.

2.12 Pertumbuhan Mikroorganisme

Menurut Trihadiningrum (2012), pertumbuhan mikroorganisme dapat ditentukan berdasarkan pola reproduksinya. Apabila jumlah sel diplotkan terhadap waktu, maka akan diperoleh kurva pertumbuhan mikroorganisme seperti dilihat pada Gambar 2.8.

Pada fase awal A (fase lag atau fase lamban) relatif tidak terjadi penambahan populasi. Pada fase ini terjadi adaptasi mikroorganisme terhadap media yang baru dan pembesaran sel. Fase berikutnya (B) adalah fase pertumbuhan logaritmik atau eksponensial, dimana sel membelah diri dengan laju konstan.

Massa sel tumbuh menjadi menjadi dua kali lipat dan aktivitas metabolik konstan. Fase ini merupakan fase pertumbuhan seimbang. Selanjutnya terjadi fase penurunan populasi sel hidup (C), yang lazim disebut fase stasioner. Sebagian sel mengalami kematian akibat berkurangnya zat nutrisi atau penumpukan produk metabolisme yang bersifat toksik. Laju pertumbuhan menjadi relative konstan. Fase yang terakhir adalah fase kematian (D) yang berlangsung secara eksponensial. Di sini kematian sel lebih cepat dari pembentukan sel baru. Beberapa jenis mikroba dapat memproduksi endospora untuk bertahan hidup. Bergantung pada jenis spesiesnya, proses kematian semua sel dapat berlangsung selama beberapa hari atau beberapa bulan.



Gambar 2.8 Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme
Sumber : Trihadiningrum (2012)

2.13 Penelitian-penelitian Terkait Biofilter

Penelitian-penelitian sebelumnya terkait biofilter adalah sebagai berikut :

- Said (2001), melakukan penelitian air limbah rumah sakit yang diolah secara biologis biakan terlekat menggunakan media plastic sarang tawon dapat meremoval COD sebesar 87,0 – 98,6%. Reaktor yang digunakan adalah kombinasi antara anaerob dan aerob.
- Said (2005), melakukan penelitian tentang aplikasi *bioball* untuk media biofilter studi kasus pengolahan air limbah

pencucian jeans dapat meremoval COD sebesar 78-91% dengan waktu detensi 3 hari.

- Rakhmawati (2012), pengolahan air limbah laundry dengan menggunakan reaktor biofilter diikuti dengan pembubuhan tawas meremoval kandungan COD sebesar 66,7 – 87,5% dan kadar fosfat sebesar 74,75 - 92,47%.

2.14 Penelitian-penelitian Terkait Pengolahan Air Limbah Laundry

Telah banyak penelitian untuk mereduksi kandungan polutan pada limbah laundry adalah sebagai berikut :

- a. Pengolahan limbah *laundry* menggunakan *biosand filter* Hasil penelitian yang dilakukan oleh Puspitahati (2012) adalah efisiensi menggunakan *biosand filter* media kombinasi karbon aktif dan pasir halus terhadap penurunan fosfat pada air limbah *laundry* adalah sebagai berikut :
 - Media pasir dengan ketinggian 30 cm dan karbon aktif dengan ketinggian 10 cm mempunyai removal fosfat 19,8%.
 - Media pasir dengan ketinggian 15 cm dan karbon aktif dengan ketinggian 25 cm mempunyai removal fosfat 13,9%.
 - Media pasir dengan ketinggian 30 cm dan karbon aktif dengan ketinggian 10 cm lebih efektif dalam menurunkan parameter fosfat dibandingkan media pasir dengan ketinggian 15 cm dan karbon aktif dengan ketinggian 25 cm.
- b. Pengolahan air limbah *laundry* menggunakan aerasi dan *biorack wetland*

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Umayu (2013) adalah pengolahan air limbah *laundry* menggunakan metode aerasi dan *biorack wetland* tanaman kangkung tidak efektif untuk mengolah air limbah laundry, dikarenakan ketahanan tanaman kangkung yang kurang cepat membusuk. Hal tersebut justru menyebabkan penambahan konsentrasi fosfat dan COD pada outlet pengolahan. Sebelum pengolahan menggunakan tanaman, harus dilakukan uji RFT (*Range Finding Test*) untuk terlebih dahulu agar diketahui kadar maksimum limbah yang akan diserap oleh tanaman.

- c. Pengolahan air limbah *laundry* menggunakan membran nanofiltrasi

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Aufiyah (2013) adalah Pengolahan limbah *laundry* dengan menggunakan membran nanofiltrasi silika aliran *cross flow* untuk menurunkan kekeruhan dan fosfat. Nilai removal terbaik dengan nilai 91,33% untuk kekeruhan dan 56,07% untuk fosfat pada membran 5 gr 106,5 NTU.

- d. Pengolahan air limbah *laundry* menggunakan biofilter dan karbon aktif.

Hasil penelitian yang dilakukan Rustanto (2013) adalah :

- Besarnya efisiensi biofilter dan karbon aktif dalam menurunkan COD dan fosfat memiliki peran yang berbeda, yaitu biofilter lebih efisien dalam meremoval COD sedangkan karbon aktif cenderung efisien meremoval fosfat. Hal ini terlihat dari persen removal rata-rata biofilter dalam meremoval COD mencapai 68% dan karbon aktif hanya 50%. Sedangkan untuk fosfat removal rata-rata biofilter mencapai 24% dan biofilter mencapai 89% .
- Total removal COD dan fosfat dalam air limbah *laundry* paling efisien apabila diolah dengan media batu alam yaitu mencapai 92% sedangkan untuk media genteng beton mencapai 83% dan media tutup botol mencapai 76%.

2.15 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Pengukuran COD secara umum digunakan untuk menentukan kandungan organik pada air limbah domestik atau industri. COD merupakan jumlah kandungan oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air secara kimiawi. Senyawa organik dapat dioksidasi menggunakan senyawa kuat oksidator dalam kondisi asam.

Keuntungan dalam pengukuran kandungan organik sebagai COD adalah memerlukan waktu yang cukup singkat. Berbeda dengan pengukuran BOD (*Biological Oxygen Demand*) yang memerlukan waktu 5 hari dalam pengukurannya, sedangkan pengukuran COD memerlukan waktu 3 jam. Selama proses pengukuran kandungan organik akan dikonversi menjadi gas karbon dioksida . Kandungan COD nilainya lebih besar dari

BOD, karena beberapa kandungan organik masih susah dioksidasi oleh mikroorganisme.

Pengukuran kandungan COD merupakan parameter utama pada analisis kandungan air limbah industri. Kandungan COD digunakan untuk menentukan sistem desain dan sebagai parameter utama dalam pengawasan air limbah yang dibuang pada saluran. Pengukuran COD membantu untuk mengetahui kondisi racun pada air limbah, dibandingkan dengan pengukuran BOD yang secara biologis resisten dengan kandungan tersebut (Sawyer dkk, 1994).

2.16 Fosfor dan Fosfat

Penentuan kandungan fosfat sangat penting dalam air limbah industri dan domestik karena senyawa fosfat menimbulkan fenomena perairan. Senyawa fosfor ditemukan sebagai senyawa ortofosfat, polifosfat maupun anorganik fosfat. Dalam perairan kandungan fosfat mendukung pertumbuhan mikroorganisme seperti plankton (termasuk fitoplankton dan zooplankton). Keberadaan plankton mempengaruhi kualitas air permukaan. Contohnya adalah alga dan *cyanobacteria* yang memerlukan fosfat dan nitrogen untuk pertumbuhan dan perkembangan dalam perairan. Kandungan nitrogen dan fosfat menyebabkan alga *bloom* yang akan berdampak pada sistem kesetimbangan perairan.

Tabel 2.4 Senyawa Fosfor yang Sering di Temukan

Nama Senyawa Fosfor	Rumus Kimia
Ortofosfat :	
1. Trinatrium Fosfat	Na_3PO_4
2. Dinatrium Fosfat	Na_2HPO_4
3. Mononatrium Fosfat	NaH_2PO_4
4. Diamonium Fosfat	$(\text{NH}_3)_2\text{HPO}_4$
Polifosfat :	
1. Natrium Heksametafosfat	$\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$
2. Natrium Tripolifosfat	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$
3. Tetranatrium Pirofosfat	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$

Kandungan fosfat pada air limbah ditemukan pada beberapa tempat. Fosfat anorganik dihasilkan oleh limbah manusia sebagai hasil proses metabolisme senyawa protein, lemak di dalam tubuh. Senyawa polifosfat ditemukan pada limbah industri deterjen maupun pencucian. Senyawa ortofosfat

ditemukan pada pupuk tanaman, yang sering digunakan pada daerah pertanian. Senyawa polifosfat dapat dihidrolisis oleh bakteri menjadi senyawa ortofosfat. Senyawa fosfat yang sering ditemukan pada Tabel 2.4. Jumlah kandungan polifosfat dapat dihitung dengan cara total anorganik fosfat dikurangi dengan ortofosfat. Senyawa fosfat biasanya diukur bentuk ortofosfat.

Data pengukuran fosfat sangat penting karena fosfat sebagai komponen penting dalam proses alami. Sebelumnya data fosfat secara prinsip sering digunakan untuk mencegah korosi pada sistem *boilers*. Penentuan kandungan fosfat sebagai indikator biologis terdapat aktivitas mikroorganisme pada air permukaan, dalam penelitian sebelumnya kandungan fosfat ditemukan pada sungai danau maupun reservoir. Penentuan fosfat harus dilakukan secara rutin dalam pengolahan air limbah maupun di air permukaan, karena fosfat sebagai nutrient makro esensial pertumbuhan biologis (Sawyer dkk, 1994).

BAB 3 METODE PENELITIAN

Metode penelitian berisi tentang beberapa tentang tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian tugas akhir. Hal-hal yang dilakukan diantaranya adalah persiapan penelitian, analisis data dan pembahasan hingga penarikan kesimpulan. Studi literatur diperoleh dari sumber jurnal penelitian, artikel dan *text book*. Melakukan penelitian skala laboratorium dengan reaktor yang telah didesain atau direncanakan. Kemudian melakukan analisis dan pembahasan dari data yang telah didapat. Dengan mengikuti langkah-langkah yang telah disusun dalam metode penelitian ini diharapkan proses pengerjaan tugas akhir akan berjalan dengan sistematis, terarah dan mengurangi terjadinya kesalahan dalam pelaksanaan.

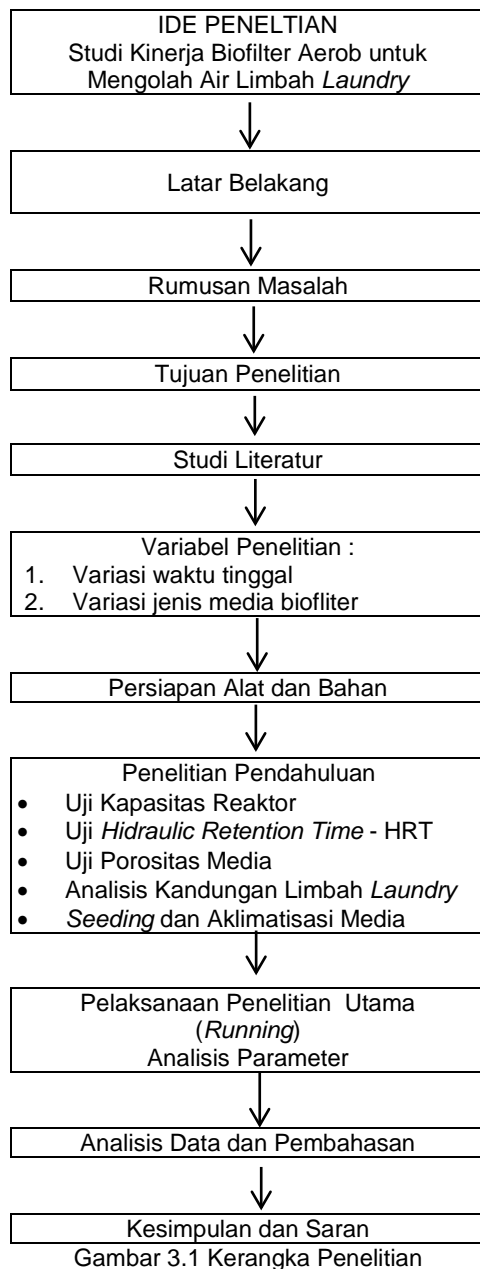
3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan dasar pemikiran dan rangkaian kegiatan untuk melaksanakan penelitian tugas akhir. Penyusunan kerangka penelitian berguna untuk pedoman dalam melakukan studi mulai dari awal hingga akhir penelitian. Tujuan kerangka penelitian adalah sebagai berikut :

1. Gambaran awal dalam tahap penelitian sehingga dapat memudahkan dalam melakukan penelitian serta penulisan laporan. Penulisan laporan menjadi sistematis dan terarah.
2. Memudahkan dalam memahami penelitian yang akan dilakukan.
3. Sebagai pedoman dalam penelitian sehingga kesalahan dapat dihindari.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini menjelaskan mengenai urutan kerja yang dilakukan dalam penelitian. Tujuan pembuatan tahapan penelitian adalah mempermudah pemahaman dan menjelaskan metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian. Tahapan penelitian ini mencakup ide penelitian yang didapat, penentuan variabel penelitian, hal-hal yang perlu dilakukan sebelum penelitian utama, hingga penarikan kesimpulan. Tahapan penelitian menghasilkan sebuah kerangka penelitian. Kerangka penelitian yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3 Ide Penelitian

Tahapan pendahuluan dimulai dengan menetapkan ide penelitian yang diperoleh berdasarkan latar belakang masalah. Latar belakang masalah didapat dengan membandingkan antara kondisi lapangan dengan kondisi seharusnya. Ide penelitian merupakan kerangka awal untuk menetapkan rumusan masalah, yang kemudian diperoleh tujuan serta manfaat dari penelitian. Penelitian dibatasi dengan ruang lingkup agar identifikasi penelitian terfokus pada tujuan yang diharapkan. Ide penelitian ini adalah studi kinerja biofilter aerob untuk mengolah air limbah *laundry*.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur bermanfaat untuk membantu serta mendukung ide studi dan meningkatkan pemahaman yang lebih jelas terhadap ide yang akan diteliti. Literatur juga harus tercantum pada analisis dan pembahasan untuk menyesuaikan hasil analisis dengan literatur yang sudah ada (penelitian sebelumnya). Sumber literatur berasal dari jurnal nasional maupun internasional, peraturan, *text book*, makalah seminar, tugas akhir dan literatur lainnya. Studi literatur pada penelitian ini meliputi karakteristik kandungan air limbah *laundry*, parameter pencemar, teknik pengolahan biofilter aerob, serta pustaka dan penelitian-penelitian yang berhubungan dengan ide penelitian.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian adalah suatu yang dapat divariasikan sehingga menunjang tingkat kepercayaan pada hasil penelitian. Pada penelitian ini variabel bebas (yang divariasikan) adalah jenis media biofilter dan waktu tinggal. Sedangkan variabel kontrol (yang dibuat sama pada penelitian) adalah kualitas influen air limbah *laundry*, debit pengolahan, volume reaktor, ketebalan media, suhu lingkungan, aerasi. Dari variasi variasi yang direncanakan ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Matriks Penelitian

Variasi Media Biofilter	Variasi Waktu Tinggal	
	Waktu tinggal 1	Waktu tinggal 2
Pecahan genteng (A)	Hasil A1	Hasil A2
<i>Bioball</i> (B)	Hasil B1	Hasil B2

3.6 Persiapan Alat dan Bahan

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah reaktor biofilter dengan desain sederhana, yang mempunyai aliran *up flow* dan *down flow*. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium yang terbuat dari kaca. Reaktor ini mempunyai beberapa kompartemen. Kompartemen pertama sebagai ruang pengendapan awal dengan arah aliran *down flow* dan *up flow*. Kompartemen kedua yaitu ruang biofiltrasi aerobik yang mempunyai arah aliran *up flow*. Kompartemen ketiga adalah ruang biofiltrasi aerobik dengan arah aliran *down flow*. Ruang biofiltrasi aerobik ini adalah tempat untuk media filter yang dilengkapi dengan *diffuser* yang berada di bagian bawah biofilter. Sedangkan kompartemen yang terakhir sebagai ruang pengendapan akhir dengan arah aliran *up flow*. Desain reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.

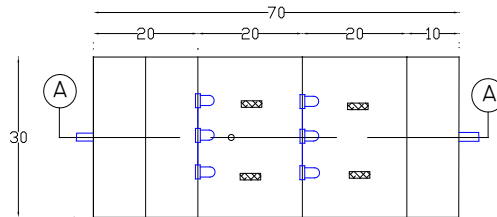
Spesifikasi media filter dan *diffuser* yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Pecahan genteng, media yang kasar, berbentuk tidak teratur. Dalam penelitian ini yakni pecahan genteng dengan diameter rata-rata 1-3 cm
- *Bioball*, media sintetis yang sering digunakan pada proses filtrasi air limbah. *Bioball* ini berdiameter 3 cm.
- *Diffuser* yang digunakan adalah merk *Resun AC-9906*.

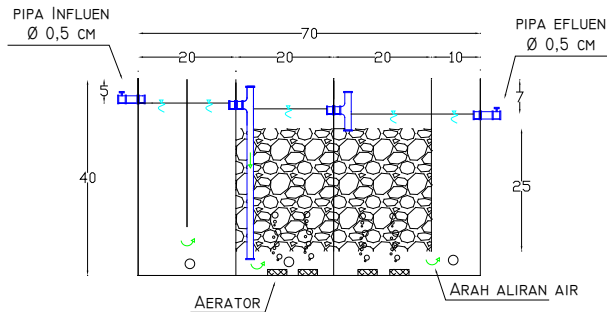
Agar reaktor dapat berjalan, diperlukan beberapa alat operasional yang akan mendukung kinerja reaktor. Kebutuhan operasional reaktor ini meliputi :

1. Bak penampung limbah
Sebuah tendon/bak yang merupakan tempat penampungan limbah sebelum dipompa ke bak pengatur debit.
2. Bak pengatur debit
Tempat yang akan mengalirkan air limbah ke reaktor, yang telah dilengkapi dengan selang *overflow* dan selang influen menuju reaktor.
3. Selang *overflow*
Sebuah penghubung dari bak pengatur debit ke bak pengatur air limbah, yang difungsikan mengalirkan kelebihan air limbah (menjaga ketinggian air bak pengatur debit).

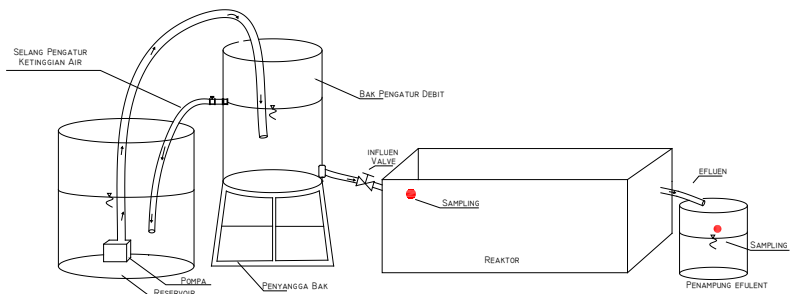
4. Pompa air
Air limbah dipompakan dari bak penampung air limbah ke bak pengatur debit dengan menggunakan pompa air jenis *submersible*.
 5. Bak efluen
Untuk menampung hasil efluen pengolahan.
- Gambar kreatif yang memperlihatkan rangkaian alir pengolahan yang direncanakan pada Gambar 3.4



Gambar 3.2 Denah Reaktor Biofilter Aerob



Gambar 3.3 Potongan A-A Reaktor Biofilter Aerob



Gambar 3.4 Rangkaian Alir Pengolahan

3.7 Uji Kapasitas Reaktor

Uji kapasitas reaktor digunakan untuk mengetahui kapasitas pengolahan pada reaktor. Uji ini dapat membantu menentukan debit pengolahan. Pengukuran kapasitas reaktor menggunakan gelas ukur dan air keran.

3.8 Uji HRT - Hydraulic Retention Time

Uji HRT (*Hydraulic Retention Time*) digunakan untuk mengetahui waktu tinggal aktual pada reaktor. Setelah mengetahui kapasitas reaktor dan debit pengolahan perlu dilakukan uji waktu detensi, dimana debit yang akan digunakan pada reaktor harus sesuai dengan hasil hitungan atau yang direncanakan. Uji ini dilakukan dengan menggunakan *tracer* warna. *Tracer* warna akan memenuhi reaktor dengan debit yang direncanakan.

3.9 Uji Porositas Media

Sebelum media dilakukan *seeding* dan aklimatisasi, terlebih dahulu dilakukan pengukuran total volume masing-masing media. Karena media ini akan mengurangi volume reaktor. Jika volume reaktor berubah maka debit yang akan digunakan akan berbeda pula pada masing-masing jenis media. Pengukuran volume media dilakukan secara sederhana yaitu menggunakan gelas ukur dan air keran.

3.10 Analisis Kandungan Air Limbah Laundry

Air limbah *laundry* yang digunakan adalah limbah *laundry* dari industri rumah tangga di sekitar Kampus ITS Sukolilo yang diambil secara random. Air limbah ini akan digunakan pada proses aklimatisasi dan proses *running*. Analisis awal digunakan untuk mengetahui kandungan polutan pada limbah *laundry*, yang kemudian dibandingkan dengan hasil akhir setelah melalui proses pengolahan pada reaktor. Analisis kualitas meliputi COD, BOD, DO, fosfat, ammonia dan TSS. Analisis ini untuk menentukan rasio BOD/COD.

3.11 Tahap Seeding dan Aklimatisasi Media

Sebelum melakukan proses *running*, media pecahan batu bata dan bioball dilakukan proses *seeding*. Tujuan *seeding* adalah untuk memperoleh sejumlah mikroorganisme aktif yang berperan dalam penguraian senyawa organik dalam reaktor.

Seeding dilakukan menggunakan air limbah domestik yang dialirkan secara kontinyu selama kurang lebih 7 hari.

Untuk mendapatkan biomasa yang aktif mampu mendegradasi bahan organik, diperlukan waktu adaptasi (dinamakan aklimatisasi) bagi mikroorganisme agar dapat menyesuaikan diri dengan limbah yang akan diolah. Selanjutnya, dilakukan proses aklimatisasi dimana reaktor dioperasikan secara kontinyu dengan mengalirkan takaran air limbah domestik 80 % dan air limbah laundry 20%. Proses aklimatisasi dilakukan secara bertahap dengan perbandingan yang akan selesai jika air limbah domestik tergantikan 100% dengan air limbah *laundry*. Selama proses ini akan dilakukan uji permanganat dan pengamatan visual. Uji permanganat bertujuan untuk mengetahui penurunan kandungan zat organik pada air limbah. Ketika terjadi penurunan kandungan organik dapat dipastikan biofilm pada reaktor telah tumbuh. Pengamatan visual yakni melihat pada filter apakah telah terbentuk lapisan biofilm yang berwarna sedikit keruh. Untuk proses *seeding*-aklimatisasi dilakukan selama kurang lebih 2 minggu.

3.12 Pelaksanaan Penelitian Utama (*Running*)

Setelah proses aklimatisasi selesai langkah selanjutnya adalah proses *running* pada reaktor. Pelaksanaan penelitian ini tidak menunggu reaktor pada saat *steady state*, dikarenakan operasi reaktor saat *steady state* membutuhkan waktu yang lama. Pelaksanaan penelitian dimulai setelah proses aklimatisasi selesai.

Air limbah influen yang digunakan pada proses tahap akhir aklimatisasi diganti dengan air limbah *laundry* yang telah disiapkan sebelumnya. Variasi pada penelitian ini adalah jenis media dan waktu tinggal telah ditunjukkan pada Tabel 3.1. Debit pengolahan telah direncanakan dan ditentukan pada persiapan awal. Setelah hasil *running* pertama selesai dengan waktu tinggal 1, selanjutnya adalah *running* kedua yaitu menggunakan waktu tinggal 2 yang direncanakan. Waktu sampling disesuaikan dengan waktu detensi yang telah direncanakan.

Untuk mendapatkan data *time series* penelitian maka diperlukan beberapa hari pengambilan data sampel. Data yang diharapkan mempunyai nilai removal yang stabil. Pada saat penelitian akan dilakukan analisis parameter dengan metode pengukuran mengacu pada *standard method* dan disesuaikan

pada laboratorium Teknik Lingkungan ITS. Parameter dan metode yang digunakan pada Tabel 3.2. Pembuatan reagen dan prosedur analisis dapat dilihat pada Lampiran C.

Tabel 3.2 Uji Parameter dan Metode Uji

Parameter	Metode	Instrumen
COD	Refluks Tertutup	-
Fosfat	Spektrofotometri	OPTIMA SP300 <i>Spectrophotometer</i>
TSS	Gravimetri	-
Kekeruhan	Turbidimetri	HANNA H188703 Turbidimeter
pH	pH meter	TRANS BP3001 pH Meter

3.13 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan dengan cara menganalisis nilai removal parameter ketika *runinng*. Data removal yang diperoleh adalah data sampling parameter dari efluen dan influen reaktor. Hasil yang diharapkan adalah nilai removal pada saat *running* menunjukkan hasil yang konsisten (tidak terjadi deviasi yang besar). Untuk setiap parameter akan disajikan tabel kemudian untuk mempermudah dalam pembacaan akan dibuat grafik efisiensi removal. Pembahasan akan di bandingkan dengan studi literatur atau penelitian sebelumnya.

3.14 Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan dilakukan setelah pengolahan dan analisis data. Kesimpulan akan menjawab tujuan penelitian. Saran diperlukan untuk menyempurnakan penelitian sehingga ditujukan pada penelitian lanjutan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian pengolahan air limbah *laundry* menggunakan biofilter ini terdiri dari 3 tahap utama yaitu *seeding*, aklimatisasi dan *running*. Terdapat 2 variasi yang digunakan dalam penelitian ini, yang pertama adalah jenis media yang digunakan yaitu media *bioball* dan pecahan genteng, yang kedua adalah waktu tinggal.

Penelitian ini akan menggunakan 2 buah reaktor yang masing-masing akan diisi media yang berbeda sesuai variasi. Prinsip aliran air yang akan digunakan dalam pengolahan limbah *laundry* ini yaitu aliran kontinyu dengan arah aliran *up flow* dan *down flow*. Reaktor didesain dengan sederhana yang terdiri dari bak pengendap pertama, bak filtrasi *up flow* dan *down flow* yang dilengkapi dengan aerator, dan bak bak pengatur debit.

Parameter pencemar yang akan diuji meliputi parameter fisik dan kimia. Untuk parameter fisik yang akan dianalisis adalah kekeruhan (NTU), TSS (mg/L). Sedangkan parameter kimia yang akan dianalisis meliputi kadar COD (mg/L), fosfat (mg/L), deterjen (mg/L) serta dengan tambahan parameter pH.

4.1 Uji Kapasitas Reaktor

Uji ini dilakukan dengan tujuan mengetahui kapasitas reaktor sebenarnya untuk menampung dan mengolah air limbah. Uji ini dilakukan dengan cara mengalirkan air keran dengan volume terukur ke dalam influen reaktor. Apabila air dalam reaktor telah penuh lalu keluar melalui efluen maka volume basah akan diketahui dengan cara selisih antara air terukur yang masuk dan air terukur yang keluar dari reaktor. Secara teoritis dimensi basah pada reaktor adalah sebagai berikut (perhitungan rinci terdapat pada Lampiran D) :

- ruang pengendapan awal = 19,8 L
- zona filter *up flow* dan *down flow* = 39,6 L
- ruang pendendapan akhir = 9,9 L

Ketika diuji dengan menggunakan air keran, volume basah yang terukur pada reaktor adalah 72 liter.

4.2 Uji HRT - *Hydraulic Retention Time*

Uji HRT dilakukan dengan menggunakan *tracer* warna untuk mengetahui aliran reaktor serta waktu tinggal aktual reaktor setelah dihitung secara teoritis. Waktu tinggal reaktor tercapai apabila konsentrasi warna *tracer* pada outlet reaktor sama dengan inlet reaktor. Untuk lebih mudah karena reaktor terbuat dari kaca yang bening, pengamatan konsentrasi *tracer* warna dengan cara melihat secara langsung warna yang tersebar dari kompartemen awal ke akhir.

Pada uji sebelumnya kapasitas aktual reaktor sekitar 72 liter air, sehingga apabila rencana waktu tinggal reaktor 24 jam maka didapat perhitungan debit sebagai berikut :

$$\text{Debit} = \frac{\text{volume}}{\text{waktu}} = \frac{72 \text{ L}}{1 \text{ hari}} = \frac{72000 \text{ mL}}{24 \text{ jam}} = \frac{3000 \text{ mL}}{\text{jam}} = \frac{50 \text{ mL}}{\text{menit}}$$

Sehingga dengan debit 50 mL/menit diharapkan dalam 24 jam *tracer* warna akan memenuhi reaktor. Gambar dokumentasi uji HRT ini dapat dilihat pada Lampiran A.

4.3 Uji Porositas Media

Uji porositas media dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai rongga masing-masing media yang digunakan, karena volume rongga belum diketahui. Uji ini dilakukan dengan cara menyiapkan reaktor yang telah berisi air penuh sebelumnya, lalu memasukkan media secara perlahan pada tempat atau kompartemen yang telah direncanakan hingga batas tempat media terisi. Kemudian mengukur volume air yang keluar dari saluran efluen reaktor. Data pengukuran yang dihasilkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Perhitungan Volume Rongga Media

Reaktor	Volume awal	Volume efluen
Media <i>Bioball</i> (A)	72000 mL	4900 mL
Media Pecahan Genteng (B)	72000 mL	12100 mL

Sehingga nilai porositas media dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{porositas } \textit{bioball} = \frac{(72000-4900)\text{ml}}{72000 \text{ ml}} \times 100\% = 93,2$$

$$\text{porositas pecahan genteng} = \frac{(72000-12100)\text{ml}}{72000 \text{ ml}} \times 100\% = 83,2$$

Porositas adalah total pori dalam suatu batuan, yaitu ruang dalam tanah yang ditempati oleh air ataupun udara. Porositas dapat dihitung nilainya dengan membandingkan antara volume total pori atau rongga batuan dengan volume total batuan persatuan tertentu.

Dengan adanya media tersebut kapasitas reaktor akan berubah. Dengan cara yang sama sehingga didapat kapasitas pengolahan reaktor dan debit rencana pengolahan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Kapasitas Pengolahan dan Debit Pengolahan Reaktor

Reaktor	Kapasitas setelah terisi media	Debit Pengolahan	
		Waktu tinggal 24 jam	Waktu Tinggal 48 jam
Media <i>Bioball</i> (A)	67100 mL	46 mL/menit	23 mL/menit
Media Pecahan Genteng (B)	59900 mL	42 mL/menit	21 mL/menit

Dari data di atas pada penelitian pengolahan limbah *laundry* menggunakan biofilter aerob dengan variasi jenis media dan waktu tinggal, *running* pertama akan menggunakan waktu tinggal 24 jam lalu *running* kedua akan digunakan waktu tinggal 48 jam.

4.4 Analisis Kandungan Air Limbah *Laundry*

Air limbah *laundry* terdiri dari beberapa proses. Pada tempat *laundry* di Gebang yang terletak di sebelah kampus ITS kebanyakan *laundry* di tempat ini melakukan proses pencucian awal yang menggunakan deterjen, pembilasan dengan *softener* atau pelembut, pembilasan akhir, dan pemerasan pada mesin cuci.

Proses pencucian awal yang menggunakan deterjen ini menghasilkan air limbah yang keruh kehitaman (berwarna gelap) dan berbau. Pada proses pencucian awal ini air limbahnya masih mengandung deterjen, karena air ini masih bisa menimbulkan busa. Kotoran-kotoran atau noda-noda dari pakaian yang dicuci akan hilang dan terangkat akibat penambahan larutan deterjen.

Setelah proses pencucian awal dilakukan kemudian biasanya dilakukan pembilasan dengan *softener* atau pelembut. Air limbah yang dihasilkan dari pembilasan menggunakan pelembut ini adalah air tampak berwarna yang sedikit keruh dan berbau harum.

Setelah dilakukan proses pembilasan dengan pelembut kemudian dilakukan pembilasan akhir menggunakan air keran dan pemerasan dalam mesin cuci. Air limbah dari proses ini mempunyai warna dan sedikit keruh. Dalam penelitian ini air limbah yang digunakan adalah air limbah dari proses-proses tersebut.

Kandungan COD, TSS, kekeruhan dan fosfat yang tinggi terletak pada proses pencucian awal karena air limbah ini membawa kotoran yang terangkut pada pakaian yang menggunakan deterjen sebagai bahan pencucinya. Selain dari proses pencucian awal menggunakan deterjen tersebut, kandungan COD, TSS, kekeruhan dan fosfat tidak terlalu tinggi. Sedangkan pH air limbah laundry ini dari keseluruhan proses memiliki pH antara 7-8.

Uji karakteristik air limbah *laundry* ini digunakan untuk mengetahui kandungan yang ada di dalam air limbah *laundry*. Data karakteristik air limbah *laundry* dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Karakteristik Kandungan Air Limbah *Laundry*

Parameter	Kandungan	Satuan
Amonium	20	mg/L
Fosfat	1,5	mg/L
COD	650	mg/L
DO	2	mg/L
BOD	300	mg/L
TSS	246	mg/L

Untuk menentukan biodegradabilitas air limbah dilakukan dengan cara menghitung nilai rasio BOD/COD air limbah. Air limbah yang memiliki nilai rasio BOD/COD antara 0,3-0,8 dapat diolah secara biologis (Metcalf dan Eddy, 2003). Dari data analisis awal rasio BOD/COD air limbah *laundry* menghasilkan nilai 0,46 sehingga dapat diolah secara biologis. Selain kandungan BOD dan COD, parameter lain yang harus diketahui adalah kadar N dan P, karena unsur tersebut sebagai nutrisi mikroorganisme dalam mengolah air limbah.

4.5 Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi Media

Setelah persiapan awal telah dilakukan maka tahap penting sebelum melakukan pengolahan biologis menggunakan biofilter adalah pembenihan (*seeding*) dan adaptasi benih pada media (aklimatisasi). *Seeding* dilakukan dengan menggunakan air limbah domestik dari Sungai Arif Rahman Hakim. Proses *seeding* dilakukan secara kontinyu menggunakan salah satu waktu tinggal rencana yaitu 24 jam. Teknik *seeding* ini seperti yang dilakukan Edhawati dan Suprihatin (2009), pembiakan atau *seeding* mikroorganisme pada media filter dilakukan secara alami yaitu dengan cara mengalirkan air limbah domestik (*greywater*) secara

terus menerus ke dalam reaktor biofilter yang telah terisi media dan dilakukan pemberian oksigen secara kontinyu, agar proses oksidasi biologi oleh mikroba dapat berjalan dengan baik

Pemantauan proses *seeding* dilakukan dengan cara uji nilai kandungan organik dalam bilangan permanganat (PV) dan pengamatan secara visual. Pada pengamatan visual, indikator biofilm yang mulai tumbuh akan tampak air yang sedikit keruh dibagian batas media. Sedangkan bila terdapat penurunan bilangan permanganat pada air limbah domestik antara influen dan efluen reaktor, hal tersebut mengindikasikan terdapat penurunan kandungan organik pada air limbah. Penurunan kandungan organik tersebut didegradasi oleh bakteri yang melekat pada media/biofilm. Hasil analisis bilangan permanganate pada tahap *seeding* pada Tabel 4.4.

Proses *seeding* dilakukan sekitar 7 hari dengan rencana telah terdapat mikroorganisme yang menempel pada media filter. Dalam proses pengolahan biologis dengan sistem biakan terlekat, bakteri dibiarkan hidup di media, dalam penelitian ini yang dimaksud adalah *bioball* dan pecahan genteng. Pengolahan dengan biakan terlekat atau biofilter (*attached growth – subamarged*) dilakukan dengan memobilisasi mikroba pada permukaan padatan yang akan membentuk lapisan tipis yang disebut biofilm.

Biofilm adalah lapisan yang terbentuk oleh koloni-koloni mikroba yang melekat pada permukaan substrat, berada dalam keadaan diam, berlendir dan tidak mudah lepas (Madigan dkk, 1997). Biofilm merupakan suatu agregat mikroba sejenis maupun berbeda jenis yang melekat pada permukaan substrat biologis maupun non biologis, dimana satu sel dengan sel lainnya saling terikat dan melekat pada substrat dengan perantara suatu matriks ekstraseluler atau PSE.

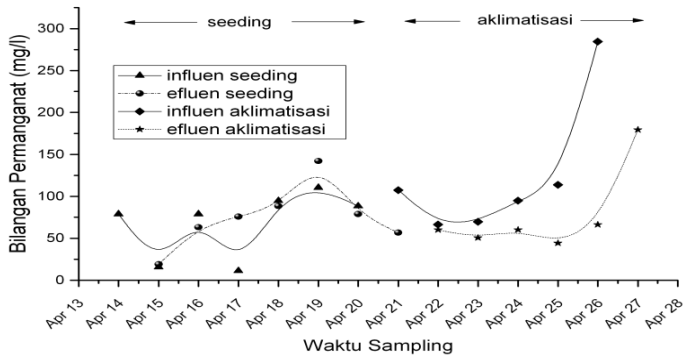
Ketika tahap *seeding* data removal antara influen dan efluen masih belum terlihat (Tabel 4.4). kemudian pada 2 hari terakhir proses *seeding*, pada masing-masing media terdapat removal kandungan organik sehingga dari terdapatnya removal tersebut proses dilanjutkan ke aklimatisasi.

Pada saat *seeding* berakhir biofilm telah melekat pada permukaan media. Biofilm terbentuk dapat dijelaskan bahwa bakteri berada pada fase lag, ketika mikroorganisme dipindahkan ke media kultur yang baru biasanya tidak ada peningkatan jumlah

sel. Fase ini ditandai dengan peningkatan komponen makro molekul, aktivitas metabolik. Fase lag merupakan suatu periode penyesuaian yang sangat penting untuk penambahan metabolisme pada kelompok sel.

Setelah proses pembenihan dilakukan selanjutnya adalah proses pengapdatasian atau aklimatisasi pada mikroorganisme menggunakan air limbah yang akan diolah yaitu air limbah *laundry*. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menghindari *shock loading* karena kandungan organik pada limbah yang baru lebih tinggi. Lama proses aklimatisasi ini adalah 7 hari.

Proses aklimatisasi dilakukan dengan menggunakan perbandingan air limbah domestik dan air limbah *laundry* dimulai dari perbandingan rendah pada air limbah *laundry* dan domestik hingga perbandingan tinggi pada air limbah *laundry* (secara bertahap). Untuk uji pemantauan ini dilakukan menggunakan analisis bilangan permanganat. Proses aklimatisasi akan selesai ketika air limbah domestik tergantikan dengan air limbah *laundry* sepenuhnya. Data analisis bilangan permanganat tahap aklimatisasi pada Tabel 4.4



Gambar 4.1 Nilai Bilangan Permanganat ketika *Seeding* dan Aklimatisasi Media *Bioball*

Ketika tahap aklimatisasi populasi mikroba akan masuk pada fase eksponensial, dimana mikroorganisme akan tumbuh dan membelah diri pada tingkat yang maksimal dan memungkinkan bakteri berkembang biak. Dalam fase ini terdapat keragaman kecepatan pertumbuhan mikroorganisme (Willey dkk, 2008).

Gambar 4.1 proses aklimatisasi menunjukkan semakin bertambahnya konsentrasi air limbah *laundry* yang digunakan

maka kandungan organik yang terukur semakin meningkat. Demikian pula pada keadaan pada efluen reaktor yang mengalami penurunan kandungan organik. Proses aklimatisasi berakhir ketika air limbah *laundry* yang digunakan pada proses ini mempunyai perbandingan 100%. Hasil analisis pada akhir proses aklimatisasi nilai PV pada air limbah *laundry* adalah 179.35 mg/L.

Selama proses aklimatisasi removal kandungan organik mempunyai rentang 9 % - 83 %, pertumbuhan mikroorganisme mulai terjadi ketika terjadi penurunan kandungan organik (Nugroho, dkk 2011). Setelah proses aklimatisasi selesai maka langsung dilanjutkan pada penelitian utama.

Tabel 4.4 Data Analisis Kandungan Bilangan Permanganat (PV mg/L)

Tanggal sampling	Waktu sampling	Media					
		Bioball			Pecahan Genteng		
		Influen	Efluen	%Removal	Influen	Efluen	%Removal
Seeding							
4/14/2015	1	79,00		-	31,60	-	
4/15/2015	2	15,80	18,96	76,00	15,80	28,44	10,00
4/16/2015	3	79,00	63,20	-	82,16	75,84	-
4/17/2015	4	11,38	75,84	4,00	75,84	97,96	-
4/18/2015	5	94,80	88,48	-	56,88	97,96	-
4/19/2015	6	110,60	142,20	-	142,20	110,60	-
4/20/2015	7	88,48	79,00	28,57	85,32	79,00	44,44
4/14/2015	8	-	56,88	35,71	-	60,04	29,63
Aklimatisasi							
4/21/2015	9	107,44	-	-	116,92	-	-
4/22/2015	10	66,36	66,36	38,24	82,16	53,72	54,05
4/23/2015	11	69,52	60,04	9,52	82,16	53,72	34,62
4/24/2015	12	94,80	50,56	27,27	91,64	53,72	34,62
4/25/2015	13	113,76	60,04	36,67	139,04	37,92	58,62
4/26/2015	14	284,40	44,24	61,11	284,40	31,60	77,27
4/27/2015	15	205,40	66,36	76,67	183,28	47,40	83,33
4/28/2015	16	-	179,35	12,68	-	115,30	37,09

4.6 Pelaksanaan Penelitian Utama (*Running*)

Reaktor terdapat 2 buah, menggunakan media *bioball* (Reaktor A) dan pecahan genteng (Reaktor B). Setelah tahap aklimatisasi selesai maka reaktor dapat dijalankan untuk mengolah air limbah. Pengoperasian pertama menggunakan variasi pertama yaitu waktu tinggal 24 jam, kemudian menggunakan variasi kedua yaitu waktu tinggal 48 jam. Pengoperasian reaktor untuk mengolah air limbah *laundry* langsung dilakukan setelah tahap aklimatisasi. Waktu sampling yang akan digunakan menyesuaikan dengan waktu tinggal yang telah direncanakan.

Pada waktu tinggal 24 jam dan 48 jam ini terjadi penurunan kandungan COD, fosfat, TSS, deterjen, kekeruhan serta perubahan nilai pH. Menurut Said (2005) Senyawa polutan yang ada di dalam air limbah, misalnya senyawa organik (BOD, COD), amonia, fosfor dan lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium.

Air limbah *laundry* masih mengandung surfaktan, dimana zat ini akan mempertahankan atau mengikat udara dalam air sehingga terbentuklah busa (buih). Busa ini akan mengganggu proses pengolahan terutama pengolahan secara aerobik. Transfer oksigen akan terganggu akibat busa yang sulit dihilangkan.

Limbah *laundry* sangat menimbulkan busa bila terjadi aerasi/terjunan air untuk mengatasi busa *laundry* maka pada saat *running* digunakan larutan *antifoam*. *Antifoam* ini dapat dibeli dipasaran dengan harga murah. Pemberian antifoam ini dilakukan pada bak penampung air limbah dengan dosis yang sangat minim dan sucukupnya. Pemberian antifoam secukupnya karena apabila berlebihan ditakutkan akan mengganggu mikroorganisme pada reaktor pengolahan. Dokumentasi analisis penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran B.

4.6.1 Penurunan Kandungan COD

Nilai COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air secara kimiawi. Tidak semua zat-zat organik dalam air buangan maupun air permukaan dapat dioksidasikan melalui tes COD. Zat-zat yang dapat dioksidasi oleh kalium dikromat pada tes COD adalah sebagai berikut :

1. Zat organik yang biodegradabel (protein, gula dan lemak).
2. Selulosa dan turunannya.
3. N organik yang biodegradabel (dalam protein dan lemak).
4. Hidrokarbon aromatik.

Jika bahan organik yang belum diolah dibuang ke badan perairan, maka bakteri akan menggunakan oksigen untuk proses pembusukannya. Kandungan organik pada air limbah *laundry* berasal dari noda/kotoran pakaian yang terangkat saat pencucian menggunakan deterjen dan berasal dari kandungan larutan-larutan yang digunakan saat mencuci seperti deterjen dan pelembut.

Pada penelitian air limbah yang digunakan berasal campuran beberapa proses dalam pencucian *laundry*, yaitu dari proses pencucian awal, pembilasan dengan pelembut, pembilasan akhir hingga pemerasan. Air limbah yang digunakan pada penelitian ini mempunyai kandungan COD yang cukup berfluktuatif (Tabel 4.5).

Pada *running* menggunakan waktu tinggal 24 jam kandungan COD yang tertinggi air limbah *laundry* terletak pada sampel ke 7 yaitu sebesar 1540 mg/L. sedangkan pada *running* dengan waktu tinggal 48 jam kandungan COD yang tertinggi terletak pada sampel ke 17 yakni sebesar 1300 mg/L. Kandungan COD yang terendah pada waktu detensi 24 jam adalah sampel pertama dengan kadar 660 mg/L. sedangkan pada waktu detensi 48 jam pada sampling ke 11 yang memiliki nilai 620 mg/L. Sehingga pada penelitian ini kandungan COD memiliki rentang 620-1300 mg/L. Hasil penelitian ini tidak jauh berbeda pada penelitian yang dilakukan oleh Said (2005), yang menjelaskan bahwa kandungan COD pada limbah pencucian jeans memiliki kandungan COD 900-1610 mg/L. Kandungan COD yang berfluktuatif ini disebabkan karena cucian pada limbah *laundry* tidak selalu mencuci baju yang terlalu kotor atau bernoda, sehingga nilai kandungan organik berbeda disetiap harinya.

Pada reaktor telah didesain menggunakan filter *up flow* dan filter *down flow*, kombinasi ini dilakukan agar degradasi nutrient pada air limbah dapat optimal. Pada kondisi *down flow* gesekan air limbah dengan media lebih besar akibat gaya gravitasi, gesekan yang besar ini dapat menyebabkan kelunturan atau lepasnya biofilm pada media. Sehingga perlu kombinasi *up flow* untuk mengoptimalkan kinerja biofilter, karena filter *up flow* mempunyai gaya gesek yang lebih rendah.

Air limbah yang mempunyai kandungan nutrisi akan terdifusi dalam lapisan biofilm. Proses kontak dalam biofilter ini terjadi secara aerobik. Dalam reaktor telah dilengkapi dengan aerator menyeluruh dimana kebutuhan oksigen secara teoritis dan jenis aerator yang digunakan telah sesuai (Lampiran G).

Desain reaktor biofilter untuk meremoval kandungan organik tertentu dapat diperkirakan menggunakan perhitungan nilai HLR (Lampiran E) yang dibandingkan dengan kriteria desain filter aerobik dalam hal ini pada unit *trickling filter*. Nilai HLR pada reaktor ini (pada media) adalah $0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ yang memenuhi

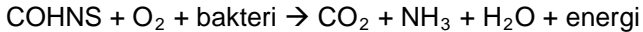
standar beban hidrolis *trickling filter* yaitu pada rentang 0,5-4 m³/m².hari (BBPT, 2002).

Desain biofilter pada Sasse (2003), yang menyatakan nilai *Organic Load* pada biofilter anaerobik maksimal adalah 4 BOD kg/m³hari, pada hasil perhitungan reaktor penelitian ini menghasilkan 0,3 kg BOD/m³.hari (Lampiran H).

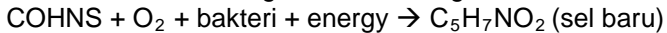
Tabel 4.5 Data Hasil Analisis Kandungan COD

Waktu Sampling	COD					
	Media <i>Bioball</i>			Media Pecahan Genteng		
	Influen	Efluen	%Removal	Influen	Efluen	%Removal
	Waktu tinggal 24 jam					
1	700	-	-	660	-	
2	960	400	42,86	1000	180	72,73
3	1000	400	58,33	1050	100	90,00
4	720	340	66,00	700	140	86,67
5	1160	440	38,89	1100	300	57,14
6	1220	240	79,31	1240	140	87,27
7	1540	220	81,97	1560	140	88,71
8	1310	440	71,43	1300	220	85,90
9	-	140	89,31	-	120	90,77
	Rata-rata		66,01	Rata-rata		82,40
	Deviasi		18,26	Deviasi		11,67
	Waktu tinggal 48 jam					
10	800	-	-	820	-	-
11	620	80	90,00	660	80	90,24
12	940	80	87,10	900	60	90,91
13	1000	100	89,36	980	60	93,33
14	800	160	84,00	740	100	89,80
15	1000	60	92,50	1150	40	94,59
16	720	120	88,00	800	80	93,04
17	1300	100	86,11	1200	60	92,50
18	-	100	92,31	-	80	93,33
	Rata-rata		88,67	Rata-rata		92,22
	Deviasi		2,96	Deviasi		1,71

Efisiensi removal COD waktu tinggal 24 jam mempunyai kandungan COD di atas nilai 100 mg/L (Baku Mutu), sedangkan efluen menggunakan waktu tinggal 48 jam memiliki kandungan rata-rata dibawah 100 mg/L (memenuhi baku mutu). Fluktuasi reduksi konsentrasi polutan dipengaruhi oleh kinerja lapisan biofilm yang tumbuh pada media (Switarto dan Sugito, 2012). Yang artinya bahwa penghilangan kandungan polutan tidak selalu konstan di setiap harinya. Menurut Metcalf dan Eddy (2003) reaksi oksidasi kandungan organik pada air limbah secara aerobik adalah sebagai berikut ;

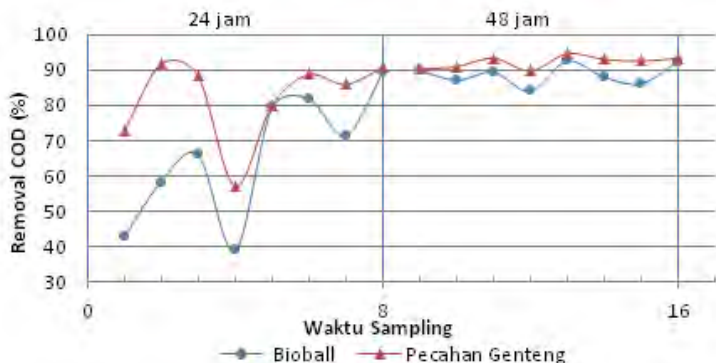


Selain itu mikroorganisme membutuhkan oksigen dalam pembentukan sel baru dengan reaksi sebagai berikut :



Pada Tabel 4.5 nilai removal rata-rata kandungan COD pada waktu detensi 24 jam menggunakan media *bioball* adalah sebesar 66,01% dan pada media pecahan genteng adalah sebesar 81,63%. Hal ini membuktikan bahwa efisiensi removal COD yang baik ditunjukkan pada media pecahan genteng. Pada waktu detensi 48 jam media *bioball* mempunyai rata-rata removal 89,24 % dan pada pecahan genteng adalah 93,09%. Pada uji waktu tinggal yang lebih lama nilai removal COD meningkat dan efisiensi terbesar removal terletak pada media pecahan genteng.

Secara teoritis bila volume rongga pada media besar atau luas permukaan yang besar maka mikroorganisme akan banyak melekat pada media tersebut, sehingga akan meremoval kandungan organik lebih besar. Namun pada penelitian ini *bioball* yang memiliki volume rongga yang lebih besar dari pada pecahan genteng melakukan removal lebih kecil. Bila dianalisis dari segi bahan media *bioball* merupakan bahan sintetis yang terbuat dari plastik. Sedangkan pecahan genteng berasal dari tanah atau bahan alami alam. Menurut Hasan dkk (2009) media biofilter yang memiliki permukaan yang kasar meningkatkan penurunan kandungan organik pada biofilter dari pada menggunakan permukaan media yang teratur.



Gambar 4.2 Nilai Removal COD pada Reaktor

Pada penelitian yang dilakukan oleh Said (2005), efisiensi removal COD limbah pencucian jeans menggunakan biofilter anaerob-aerob menghasilkan efisiensi removal yang bernilai 91% dengan menggunakan waktu detensi 24-72 jam.

Removal kandungan COD yang menurun terletak pada sampling ke 1 dan ke 5. Karena biofilm yang terdapat pada media mengalami *shock* yang mengakibatkan efisiensi pengolahan berkurang. Kemudian pada saat menggunakan waktu detensi 48 jam removal COD relatif stabil.

Analisis statistik removal COD (hasil analisis statistik terdapat di Lampiran F) menunjukkan bahwa pada waktu detensi 24 jam data removal pada masing masing media menghasilkan $P\text{-value} = 0,06$ ($> 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa pada waktu detensi 24 jam hasil removal COD menggunakan media bioball dan pecahan genteng tidak terdapat signifikasi data/perbedaan yang jelas. Kemudian pada waktu detensi 48 jam menghasilkan $P\text{-value} = 0,01$ ($< 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa pada waktu detensi 48 jam hasil removal COD menggunakan media bioball dan pecahan genteng terdapat signifikasi data/perbedaan yang jelas.

4.6.2 Penurunan Kandungan Fosfat

Penentuan kandungan fosfat dalam suatu perairan sangat penting karena fosfat sebagai nutrisi mikroorganisme. Dalam pengolahan limbah fosfor diukur sebagai tanda adanya aktivitas mikroorganisme dalam pengolahan biologis (Sawyer dkk, 1994). Dalam alam senyawa fosfor tidak dapat berdiri sendiri, senyawa fosfor membentuk ikatan dengan unsur lain. Macam-macam senyawa fosfor dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Senyawa Fosfor yang Sering di Temukan

Nama Senyawa Fosfor	Rumus Kimia
Ortofosfat :	
1. Trinatrium Fosfat	Na_3PO_4
2. Dinatrium Fosfat	Na_2HPO_4
3. Mononatrium Fosfat	NaH_2PO_4
4. Diamonium Fosfat	$(\text{NH}_3)_2\text{HPO}_4$
Polifosfat :	
1. Natrium Heksametrafosfat	$\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$
2. Natrium Tripolifosfat	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$
3. Tetranatrium Pirofosfat	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$

Setiap senyawa fosfat tersebut terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi atau terikat di dalam sel organisme dalam air. dalam air limbah senyawa fosfat dapat berasal dari limbah penduduk, industri dan pertanian. Ortofosfat (H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) berasal dari bahan pupuk, yang masuk ke dalam sungai melalui drainase dan aliran air hujan.

Polifosfat dapat memasuki sungai melalui air buangan penduduk dan industri yang menggunakan bahan deterjen yang mengandung fosfat seperti industri pencucian, industri logam. Senyawa polifosfat akan dihidrolisis oleh enzim pada bakteri menjadi ortofosfat. Penelitian membuktikan bahwa pirofosfat dihidrolisis dengan lebih cepat dibandingkan dengan tripolifosfat. Dengan waktu beberapa jam hingga beberapa hari akan terbentuk senyawa ortofosfat dari senyawa polifosfat pada suhu yang rendah dan pH yang tinggi (Sawyer dkk, 1994).

Deterjen yang digunakan pada limbah *laundry* umumnya merupakan deterjen dengan bahan aktif permukaan (surfaktan), bahan penunjang. Bahan baku surfaktan menempati porsi 20-30% sedangkan bahan penunjang sekitar 70-80% (Rudi, dkk 2004). Salah satu bahan penunjang yang dimiliki deterjen adalah *builder*, *builder* merupakan zat yang digunakan untuk menunjang kinerja deterjen dalam pelunakan air dengan cara membatasi kerja ion-ion kalsium dan magnesium. *Builder* dapat berupa senyawa alkali yang mudah mengendap seperti natrium karbonat, agen kompleks seperti natrium trifosfat dan STTP/sodium tripoli fosfat (Nasir dan Budi, 2011). Sehingga salah satu sumber kandungan fosfat pada deterjen terletak pada bahan tersebut.

Pernyataan Nasir dan Budi (2011) tersebut diperkuat oleh Padmaningrum (2014), bahwa kandungan fosfat memegang peranan penting dalam produk deterjen, sebagai *softener* air dan *builders*. Bahan ini mampu menurunkan kesadahan air dengan cara mengikat ion kalsium dan magnesium. Berkat aksi *softener*-nya, efektivitas dari daya cuci deterjen meningkat. Fosfat tidak memiliki daya racun, bahkan sebaliknya merupakan salah satu nutrisi yang penting yang dibutuhkan makhluk hidup.

Sedangkan Sawyer dkk (1994), pada formula deterjen sintesis yang umumnya digunakan pada kegiatan rumah tangga memiliki kandungan polifosfat dalam kandungan *builders*. Kandungan *builders* pada deterjen memiliki komposisi 12-13% fosfor atau lebih dari 50% senyawa polifosfat.

Tabel 4.7 Data Hasil Analisis Kandungan Fosfat

Waktu Sampling	Fosfat					
	Media <i>Bioball</i>			Media Pecahan Genteng		
	Influen	Efluen	%Removal	Influen	Efluen	%Removal
	Waktu tinggal 24 jam					
1	1,42	-	-	2,20	-	-
2	2,33	1,11	21,67	2,17	1,73	21,63
3	4,96	2,17	6,61	4,80	1,14	47,42
4	3,96	0,00	99,91	3,74	0,39	91,90
5	5,39	0,02	99,49	5,31	0,16	95,77
6	5,47	0,11	97,92	5,88	0,44	91,80
7	2,30	0,40	92,60	2,36	0,71	87,89
8	6,54	0,93	59,61	6,28	0,62	73,71
9	-	0,24	96,40	-	0,04	99,44
	Rata-rata		71,78	Rata-rata		76,19
	Deviasi		38,15	Deviasi		27,68
	Waktu tinggal 48 jam					
10	2,19	-	-	2,31	-	-
11	5,27	0,65	70,27	5,11	0,50	78,51
12	3,96	0,39	92,61	4,02	0,22	95,70
13	4,16	0,24	94,05	4,19	0,05	98,74
14	2,59	0,37	91,01	3,94	0,33	92,18
15	3,94	0,77	70,11	3,85	0,65	83,50
16	5,27	1,40	64,38	5,17	1,08	71,91
17	3,63	0,25	95,24	3,73	0,19	96,34
18	-	0,19	94,79	-	0,56	85,02
	Rata-rata		84,06	Rata-rata		87,74
	Deviasi		13,27	Deviasi		9,55

Kandungan fosfat yang diukur dalam pengolahan ini adalah golongan ortofosfat, dimana senyawa tersebut merupakan salah satu sumber nutrient penyebab eutrofikasi. Hasil analisis kandungan fosfat dapat dilihat pada Tabel 4.7

Selama penelitian berlangsung kandungan fosfat tertinggi pada air limbah *laundry* pada sampling ke 6 yaitu sebesar 5,88 mg/L (waktu tinggal 24 jam) dan pada sampling ke 16 sebesar 5,27 mg/L (waktu tinggal 48 jam). Sedangkan kandungan terendah fosfat air limbah *laundry* pada sampling ke 1 yang mempunyai nilai 1,42 mg/L (waktu detensi 24 jam) dan pada pada sampel ke 10 yaitu 2,19 mg/L (waktu detensi 48 jam). Sehingga dalam penelitian ini rentang kandungan fosfat pada limbah *laundry* berkisar 1-6 mg/L.

Pada peraturan yang telah ditetapkan atau baku mutu, kandungan fosfat air limbah *laundry* maksimal adalah 10 mg/L, sehingga kandungan fosfat dalam air limbah *laundry* ini sudah

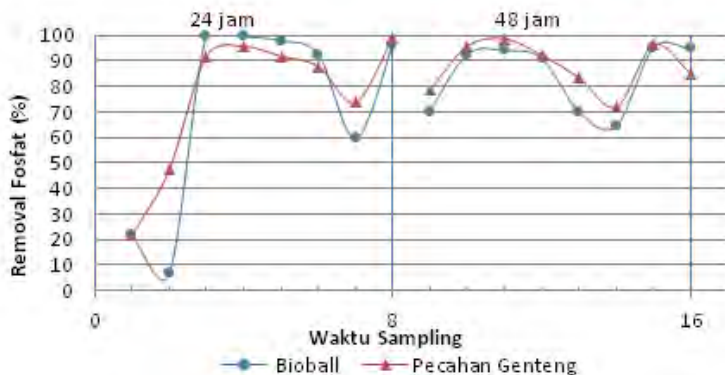
memenuhi baku mutu. Hasil analisis kandungan fosfat ini sama dengan penelitian yang dilakukan Puspitahati (2012) bahwa kadar fosfat limbah *laundry* menghasilkan angka dibawah baku mutu, yang berarti menunjukkan kadar fosfat pada air limbah deterjen sudah rendah.

Hasil analisis kandungan fosfat setelah air limbah *laundry* diolah menggunakan biofilter aerobik dapat dilihat pada tabel 4.6. pada waktu detensi 24 jam menggunakan media bioball kandungan efluen fosfat terendah terdapat pada sampling ke 4 yang bernilai 0 mg/L, sedangkan pada media pecahan genteng konsentrasi efluen fosfat terendah terletak pada sampling ke 5 yaitu dengan nilai 0,16 mg/L. Pada reaktor *bioball* konsentrasi fosfat terendah pada efluen terletak pada sampling ke 18 dengan nilai 0,19 mg/L dan pada media pecahan genteng konsentrasi fosfat terendah efluen terletak pada sampling ke 13 dengan nilai 0,05 mg/L.

Pada Tabel 4.7 removal kandungan fosfat pada waktu detensi 24 jam menggunakan media *bioball* sebesar 71,78 % dan pada media pecahan genteng sebesar 76,19 %. Sehingga pada pecahan genteng sedikit lebih baik dari pada menggunakan bioball. Efisiensi removal pecehan genteng lebih besar kembali dari pada menggunakan *bioball* pada waktu detensi 48 jam. Pada *bioball* sebesar 83,67% sedangkan pecahan genteng mencapai 87,14 %. Grafik efisiensi removal fosfat ini dapat dilihat pada Gambar 4.3. Semakin lama waktu tinggal dalam reaktor efisiensi removal fosfat semakin besar, hal ini sesuai pernyataan Said (2002), bahwa semakin lama waktu kontak antara air limbah dengan media, maka efluen yang dihasilkan akan lebih kecil atau dengan kata lain efisiensi penyisihan akan menjadi tinggi. Efisiensi removal ini cukup efektif karena pH air limbah dan saat pengolahan yang cukup mendukung yaitu antara 7-9, karena menurut Metcalf dan Eddy (2003), bila pada tempat aerob ($DO > 1,00$ mg/L) dalam pH di bawah 6,5 removal kandungan fosfor pada pengolahan biologis akan berkurang besar.

Pengurangan kadar fosfat terjadi disebabkan bakteri memanfaatkan fosfat menjadi sumber energy (Khusnuryani, 2008). Sedangkan menurut Metcalf dan Eddy (2003), ortofosfat yang ditemukan adalah dalam bentuk PO_4^{3-} , HPO_4^{3-} , $H_2PO_4^{4-}$, H_3PO_4 akan digunakan dalam proses metabolisme. Senyawa

fosfat sangat penting digunakan pada proses metabolisme, karena unsur fosfat sebagai pembentuk ATP (Adenosin Trifosfat).



Gambar 4.3 Removal Fosfat pada Reaktor

Analisis statistik removal fosfat (hasil analisis statistik terdapat di Lampiran F) menunjukkan bahwa pada waktu detensi 24 jam data fosfat pada masing masing media menghasilkan $P\text{-value} = 0,79$ ($> 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa pada waktu detensi 24 jam hasil removal fosfat menggunakan media bioball dan pecahan genteng tidak terdapat signifikasi data/perbedaan yang jelas. Kemudian pada waktu detensi 48 jam menghasilkan $P\text{-value} = 0,19$ ($> 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa pada waktu detensi 48 jam hasil removal fosfat menggunakan media bioball dan pecahan genteng tidak terdapat signifikasi data/perbedaan yang jelas.

Pada Gambar 4.3 pengoperasian awal reaktor (removal 1 dan 2) , reaktor terjadi *shock loading* pada kandungan fosfat, hal ini dituntukan pada removal kedua media yang memiliki removal rendah Hal ini bisa disebabkan oleh bakteri dalam biofilter *shock* dan masih belum bisa melakukan removal fosfat yang tinggi dengan kandungan fosfat air limbah deterjen. Namun pada sampling hari berikutnya removal fosfat cukup stabil hal ini mengindikasikan bahwa bakteri pada biofilter telah meremoval fosfat secara stabil.

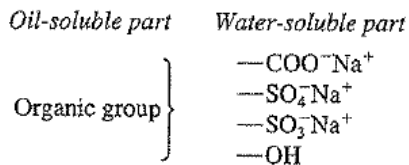
Menurut Bernard dan Stensel (2012), karakteristik bakteri yang meremoval fosfor adalah bakteri heterotropik (bakteri yang menggunakan unsur karbon sebagai sumber energi utama), bakteri fakultatif (bakteri yang menggunakan oksigen maupun nitrat untuk membentuk ATP). Bakteri ini biasanya dinamakan

sebagai PAO (*Phosphorus Accumulating Organism*), dengan salah satu contoh bakteri PAO adalah *Acinobacter sp.* Secara konsep fosfor tidak dapat dirubah maupun dihancurkan oleh mikroorganisme, melainkan fosfor akan diserap lalu digunakan sebagai komponen pembentuk energi.

4.6.3 Penurunan Kandungan Deterjen

Menurut Sawyer dkk (1994), deterjen difungsikan sebagai bahan pembuatan berbagai jenis pembersih. Komponen dasar dari deterjen adalah materi organik yang dinamakan *surface active* atau *surface active agents* atau sering yang disebut surfaktan, dimana larutan ini bersifat encer. Terdapat 2 gugus fungsional pada surfaktan. Gugus/molekul yang terlarut dalam water dan gugus lainnya terlarut pada minyak (Gambar 4.4). Yang terlarut dalam air tersusun atas gugus karboksil, sulfat, hidroksil maupun sulfonat. Surfaktan dengan gugus karboksil, sulfat dan sulfonat merupakan surfaktan tersusun atas sodium atau potassium (Na).

Deterjen berbeda dengan senyawa sabun. Senyawa sabun dibentuk dari turunan senyawa lemak dan minyak. Dengan proses saponifikasi (pembuatan sabun) lemak dan minyak direaksikan dengan natrium hidroksida akan membentuk senyawa sabun dan gliserol. Semua senyawa sabun terlarut dalam air, sehingga bila air mengandung ion kesadahan maka senyawa sabun akan bereaksi dengan ion kesadahan (Ca^{2+} dan Mg^{2+}) akan membentuk endapan yang mengurangi efektifitas senyawa sabun.



Gambar 4.4 Dua Gugus Pada Surfaktan

Sumber : Sawyer dkk (1994)

Deterjen yang digunakan pada limbah *laundry* umumnya merupakan deterjen dengan bahan aktif permukaan (surfaktan), bahan penunjang. Bahan baku surfaktan menempati porsi 20-30% sedangkan bahan penunjang sekitar 70-80% (Rudi, dkk 2004; Sawyer dkk, 1994). Menurut Metcalf dan Eddy (2003),

sejak tahun 1965 penggunaan ABS (*alkyl benzene sulfonate*) sebagai surfaktan pada deterjen telah dilarang karena sulit sekali didegradasi secara biologis, kemudian penggunaan ABS diganti dengan LAS (*linier alkyl sulfonate*) yang mudah didegradasi secara biologis. Hal ini diperkuat oleh Budi dan Nasir (2011) jenis surfaktan yang banyak digunakan sekarang adalah surfaktan jenis LAS, surfaktan jenis ini merupakan surfaktan anionik (bagian alkil nya terikat oleh anionik).

Surfaktan tersusun atas gugus hidrofobik yang sangat kuat bergabung dengan gugus hidrofilik. Tipe gugus hidrofobik adalah radikal hidrokarbon ($R = \text{alkyl}$) yang tersusun oleh 10 sampai dengan 20 atom karbon. Dua tipe gugus hidrofobik yang sering digunakan dapat larut terionisasi ataupun tidak terionisasi dalam air. Surfaktan anionik adalah bermuatan negatif seperti $(\text{RSO}_3)^- \text{Na}^+$ (Metcalf dan Eddy, 2003).

Menurut sawyer dkk (1994), deterjen anionik dibuat dari beberapa serangkaian reaksi. Rantai panjang alkohol direaksikan dengan asam sulfat membentuk alcohol sulfat sebagai bahan aktif bermukaan. Sesuai reaksi sebagai berikut :

$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{OH}$ (lauril alkohol) + $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{--O--SO}_3\text{H} + \text{H}_2\text{O}$
Kemudian alkohol sulfat dinetralisasi dengan natrium (sodium) hidroksida untuk membentuk surfaktan, sesuai reaksi sebagai berikut :

$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{--O--SO}_3\text{H} + \text{NaOH} \rightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{--O--SO}_3\text{Na} + \text{H}_2\text{O}$
Alkohol sulfat adalah surfaktan pertama yang diproduksi secara komersial. Senyawa $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{--O--SO}_3\text{Na}$ adalah rumus kimia LAS (*Linier Alkyl Sulfonate*).

Biodegradasi deterjen tergantung pada struktur senyawa kimia deterjen. Secara umum senyawa sabun dan alkohol sulfat adalah makanan bakteri. Deterjen sintesis seperti LAS dapat dibiodegradasi secara aerobik (Sawyer, 1994)

Untuk analisis kandungan deterjen dilakukan sekali setiap *running*. Kandungan analisis deterjen dapat dilihat pada Tabel 4.8. kandungan deterjen pada air limbah *laundry* sangat tinggi dengan nilai antara 55,10 mg/L – 134,145 mg/L. Kandungan deterjen pada limbah laundry pada penelitian ini tidak jauh beda dengan hasil penelitian yang dilakukan Switarto dan Sugito (2012), dimana air limbah laundry mengandung kandungan deterjen sebesar 58 mg/L – 118 mg/L. Kandungan

tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu maksimal 10 mg/L.

Tabel 4.8 Data Analisis Kandungan Deterjen

Waktu Sampling	Deterjen (mg/L)					
	Media <i>Bioball</i>			Media Pecahan Genteng		
	Influen	Efluen	%Removal	Influen	Efluen	%Removal
Waktu tinggal 24 jam						
1	55,10	-	-	49,97	-	-
2	-	1,04	98,11	-	1,09	97,82
Waktu tinggal 48 jam						
3	126,91	-	-	134,14	-	-
4	-	0,86	99,32	-	0,76	99,43

Setelah air limbah *laundry* diolah menggunakan biofilter aerobik kandungan deterjen pada air limbah menurun. Hasil efluen pada reaktor menggunakan waktu detensi 24 jam media *bioball* 1,04 mg/L dan pada media pecahan genteng sebesar 1,09 mg/L. Sedangkan pada waktu detensi 48 jam kandungan efluen media *bioball* sebesar 0,86 mg/L lalu pada media pecahan genteng sebesar 0,76 mg/L. Kandungan efluen pada reaktor telah memenuhi baku mutu yaitu dengan kadar maksimum kandungan deterjen 10 mg/L.

Penurunan kandungan deterjen menggunakan reaktor biofilter sangat efektif, terbukti removal menggunakan waktu tinggal 24 jam mencapai 98% dan 99% menggunakan waktu detensi 48 jam. Semakin lama waktu tinggal maka efisiensi removal akan semakin meningkat. Pada penelitian yang dilakukan oleh Switarto dan Sugito (2012), penurunan kandungan deterjen pada air limbah *laundry* mencapai removal 96% menggunakan media pecahan genteng yang diaerasi dengan menggunakan ukuran reaktor 15cm x 15cm x 50cm dengan waktu tinggal hidrolis tertentu. penurunan kandungan deterjen ini terjadi karena rantai atom karbon pada rantai diuraikan oleh mikroorganisme.

Hasil penelitian menunjukan bahwa penggunaan waktu detensi 24 jam sudah dapat mereduksi kandungan deterjen pada air limbah pada masing-masing media. Artinya bahwa menggunakan media *bioball* dan pecahan genteng mempunyai hasil yang sama pada penurunan kandungan deterjen. Permukaan pecahan genteng yang sedemikian rupa sehingga lapisan biofilm dapat melekat dan dapat melakukan removal yang optimal. Penurunan kandungan surfaktan ini terjadi karena rantai atom karbon pada yang terdapat pada deterjen diuraikan oleh

mikroorganisme. Hal inilah yang menjadikan konsentrasi surfaktan deterjen dalam air limbah menjadi berkurang bahkan habis dimakan oleh mikroorganisme (Switarto dan Sugito, 2012).

4.6.4 Perubahan Nilai pH

Parameter tambahan pada penelitian ini adalah nilai pH (*power hydrogen*). Fungsi dari pengukuran pH adalah untuk mengetahui nilai pH pada saat pengolahan biologis. Menurut Metcalf dan Eddy (2003) pH optimum untuk kehidupan mikroorganisme pada pengolahan biologis adalah 6-9. pH suatu larutan ditentukan oleh kandungan ion H^+ . Apabila larutan mengandung banyak ion H^+ (hydrogen) maka air akan mempunyai pH asam (rendah), dan bila dalam larutan banyak mengandung ion OH^- (hidroksida) maka pH larutan menjadi basa (tinggi).

Tabel 4.9 Data Hasil Analisis pH

Sampling ke	pH			
	Media <i>Bioball</i>		Media Pecahan Genteng	
	Influen	Efluen	Influen	Efluen
Waktu tinggal 24 jam				
1	7,64	-	7,46	-
2	7,30	8,16	7,30	8,29
3	7,01	8,21	7,02	8,18
4	7,59	8,26	7,58	8,39
5	7,24	8,15	7,24	8,20
6	7,06	8,11	7,02	8,13
7	7,77	8,54	7,70	8,52
8	7,49	8,37	7,54	8,24
9	-	8,22	-	8,00
Rata-rata	7,35	8,25	7,34	8,24
Waktu tinggal 48 jam				
10	7,61	-	7,52	-
11	7,98	8,41	7,92	8,13
12	7,18	8,10	7,18	7,98
13	7,84	8,18	7,86	8,06
14	8,05	8,56	8,01	8,44
15	7,37	8,58	7,37	8,54
16	7,55	8,60	7,51	8,44
17	7,40	8,45	7,37	8,30
18	7,22	8,45	7,33	8,22
19	7,59	8,23	7,60	8,11
20	-	8,77	-	8,60
Rata-rata	7,58	8,43	7,57	8,28

Selama analisis pH dilakukan saat penelitian air limbah *laundry* memiliki pH dibawah nilai 8 dan ketika saat keluar melalui reaktor mempunyai pH diatas 8. Hasil analisis nilai pH dapat dilihat pada Tabel 4.9

Nilai pH air limbah *laundry* memiliki nilai terkecil pada sampling ke 3 yaitu bernilai 7,01 pada waktu tinggal 24 jam dan pada sampling ke 12 bernilai 7,12 pada waktu tinggal 48 jam. Sedangkan nilai pH yang besar terjadi pada sampling ke 1 yang memiliki nilai 7,64 (waktu tinggal 24 jam) dan pada sampling ke 14 yang bernilai 8,05 (waktu tinggal 48 jam). Sehingga pada penelitian ini nilai rentang pH air limbah antara 7,01 – 8,05. Rentang pH pada penelitian ini sama dengan penelitian dilakukan oleh Nasir dan Budi (2011), pH air limbah *laundry* memiliki nilai 7,53. pH pada rentang tersebut masuk pada rentang dimana pada pH 6-9 mikroorganisme dapat berkembang biak dan melakukan pengolahan secara biologis.

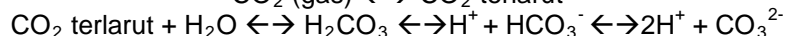
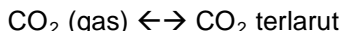
Setelah air limbah diolah secara biofilter aerobik, pH air limbah ini naik. Pada efluen pH tertinggi terletak pada sampling ke 7 yang bernilai 8,54 menggunakan waktu detensi 24 jam dan pada sampling ke 20 yang bernilai 8,77 menggunakan waktu detensi 48 jam. Sedangkan pH efluen terendah pada sampling ke 9 yang bernilai 8,00 menggunakan waktu detensi 24 jam dan pada sampling ke 12 yaitu bernilai 7,98. Sehingga rentang pH efluen pada penelitian ini adalah 7,98 – 8,77.

Pada kedua media rata-rata pH pada efluen tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Saat menggunakan waktu detensi 24 jam rata-rata nilai pH menggunakan bioball adalah 8,25 dan 8,24 pada media pecahan genteng. Saat menggunakan waktu detensi 48 jam rata-rata nilai pH menggunakan bioball adalah 8,45 dan 8,25 pada menggunakan media pecahan genteng. Menurut baku mutu air limbah *laundry* air limbah laundry memiliki pH 6-9, sehingga dengan pengolahan biofilter aerobik ini pH telah memenuhi baku mutu yang diijinkan.

Fungsi aerator pada zona filtrasi adalah meningkatkan kadar oksigen terlarut, sehingga bakteri dalam filter dapat mendegradasi polutan secara aerobik. Perhitungan kebutuhan oksigen dan spesifikasi aerator yang digunakan terdapat pada lampiran G. Kenaikan pH pada efluen reaktor dapat mengindikasikan bahwa kandungan oksigen dalam air meningkat, karena kebutuhan oksigen mikroorganisme secara teoritis lebih

sedikit dari pada aerasi yang diberikan (aerasi berlebih). Menurut Metcalf dan Eddy (2003) gas CO₂ dalam air limbah menyebabkan pH sedikit asam. Dalam kesetimbangan air, karbon dioksida yang bisa berikatan dengan air membentuk sebuah asam karbonat yang mempengaruhi nilai alkalinitas pada air. Ketika kandungan oksigen meningkat maka terjadi penurunan kandungan CO₂ yang dapat meningkatkan pH air limbah (Mardiana dkk, 2014).

Walaupun mikroorganisme dalam biofilter melakukan oksidasi terhadap kandungan organik yang menghasilkan gas karbon dioksida, konsentrasi karbon dioksida dalam air akan tetap rendah karena kelarutan oksigen dalam air lebih besar dibandingkan dengan karbon dioksida. Dengan kata lain apabila terjadi aerasi kandungan CO₂ dalam air akan mudah lepas akibat adanya oksigen. Menurut Matthews dan Weiner (2003) reaksi kesetimbangan karbondioksida dalam air adalah sebagai berikut :



Karbon dioksida dalam air bereaksi dengan air membentuk asam bikarbonat. Jika konsentrasi karbondioksida dalam air berkurang maka reaksi akan berkeser ke kiri yang akan menyebabkan ion-ion karbonat dan hydrogen berkurang sehingga hal ini menyebabkan pH sedikit naik.

Menurut Sawyer dkk (1994), Hukum Dalton tentang tekanan parsial menyatakan bahwa dalam sistem campuran gas seperti udara bebas, setiap masing-masing senyawa gas memberikan tekanan satu sama lain. Tekanan parsial gas sebanding dengan jumlah atau persen volume senyawa gas yang terkandung dalam udara. Dengan kata lain, tekanan parsial setiap gas sebanding dengan volume pada campuran gas tersebut. Hukum Dalton sangat erat kaitanya dengan Hukum Henry. Kemudian Hukum Henry menyebutkan bahwa masa dari setiap gas yang akan terlarut dalam suatu volume air, pada temperatur yang konstan, akan sebanding dengan tekanan gas seperti di atas cairan (udara). Nilai kelarutan di udara untuk oksigen adalah 9,2 mg/L sedangkan nilai kelarutan untuk karbon dioksida adalah 0,48 mg/L. Nilai kelarutan oksigen yang lebih besar akan memberikan tekanan yang lebih besar sehingga konsentrasi gas karbondioksida dalam air akan mudah tergantikan.

4.6.5 Penurunan Kandungan TSS

Analisa zat padat dalam air sangat penting bagi penentuan komponen-komponen air secara lengkap, juga untuk merencanakan serta pengawasan, proses-proses pengolahan dalam bidang air minum maupun dalam bidang air buangan.

Zat-zat padat yang terdapat dalam suspensi dapat dibedakan menurut ukuran sebagai partikel tersuspensi koloid dan partikel tersuspensi biasa. Jenis partikel koloid tersebut adalah penyebab kekeruhan dalam air yang disebabkan oleh penyimpanan sinar nyata yang menembus suspensi tersebut. Partikel-partikel koloid tidak dapat terlihat secara visual, sedangkan larutannya yang terdiri dari ion-ion dan molekul keruh. Larutan menjadi keruh bila terjadi pengendapan yang merupakan keadaan kejenuhan dari suatu senyawa kimia. Partikel tersuspensi biasa mempunyai ukuran partikel lebih besar dari koloid dan dapat menghilangkan sinar yang menembus suspensi.

Nilai padatan tersuspensi total menunjukkan banyaknya bahan yang tersuspensi di dalam air. TSS (*Total Suspended Solid*) adalah berat mg/L kering lumpur yang ada dalam air limbah setelah mengalami penyaringan dengan membran berukuran 1,5 μm (kertas saring whatman no. 42). Analisa TSS atau padatan tersuspensi penting dilakukan untuk mengetahui kuantitas senyawa-senyawa organik dan anorganik yang larut dalam air, mineral, dan garam.

Pada reaktor yang direncanakan telah terdapat bagian atau kompartemen yang difungsikan untuk mengendapkan suspensi, koloid atau kotoran pada air limbah. Pada kompartemen pertama pada reaktor difungsikan sebagai ruang pengendapan awal sehingga air yang akan masuk ke dalam filter telah jernih (mengurangi penyumbatan atau *clogging* pada filter). Kemudian pada kompartemen terakhir reaktor terdapat ruang pengendapan akhir difungsikan untuk mengendapkan sisa suspensi, koloid maupun biomassa yang lepas dari media. Perhitungan waktu tinggal pengendapan dapat dilihat pada Lampiran D.

Tabel hasil analisis kandungan TSS dapat dilihat pada Tabel 4.10. Kandungan TSS tertinggi pada air limbah *laundry* pada sampling ke 6 yaitu mencapai nilai 1520 mg/L (waktu detensi 24 jam), kemudian TSS tertinggi juga pada sampling ke 19 sebesar 404 mg/L (waktu detensi 48 jam). Untuk kandungan

TSS terendah pada air limbah laundry terletak pada sampling ke 2 yaitu sebesar 36 mg/L dan pada sampling ke 11 yaitu 140 mg/L. Sehingga hasil dalam penelitian ini kadar TSS dari air limbah *laundry* mempunyai rentang 30-1400 mg/L, hasil ini tidak jauh berbeda pada penelitian yang dilakukan Said (2005) dalam air limbah pencucian jeans kadar TSS memiliki rentang 475-550 mg/L. Kandungan TSS air limbah *laundry* bergantung pada noda/kotoran pada pakaian yang menempel dan terangkat bersih saat pencucian menggunakan deterjen kemudian keluar bersama air limbah.. Air limbah *laundry* yang gelap dan keruh mengandung kandungan TSS yang tinggi. Dari segi peraturan kandungan TSS air limbah *laundry* masih melampaui kadar maksimum yang ditentukan yaitu 100 mg/L.

Tabel 4.10 Data Hasil Analisis Kandungan TSS

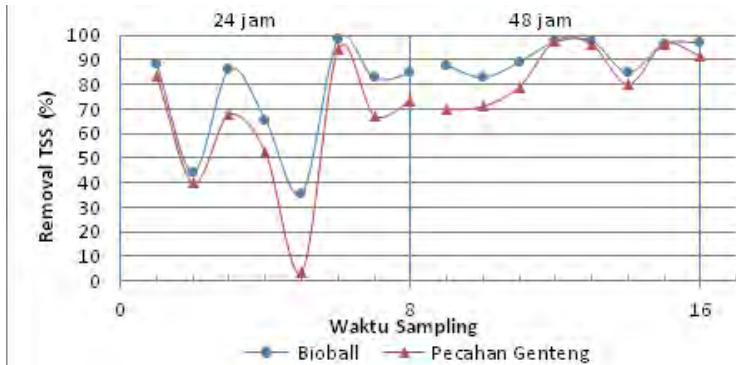
Waktu Sampling	TSS					
	Media Bioball			Media Pecahan Genteng		
	Influen	Efluen	%Removal	Influen	Efluen	%Removal
	Waktu tinggal 24 jam					
1	172	-	-	172	-	-
2	36	20	88,37	60	28	83,72
3	292	20	44,44	224	36	40,00
4	116	40	86,30	84	72	67,86
5	560	40	65,52	520	40	52,38
6	1520	360	35,71	1400	500	3,85
7	640	24	98,42	920	80	94,29
8	1320	112	82,50	1520	300	67,39
9	-	200	84,85	-	400	73,68
Rata-rata			73,26	Rata-rata		60,40
Deviasi			22,52	Deviasi		28,41
	Waktu tinggal 48 jam					
10	164	-	-	172	-	-
11	140	20	87,80	152	52	69,77
12	260	24	82,86	268	44	71,05
13	156	28	89,23	196	56	79,10
14	344	4	97,44	324	4	97,96
15	132	8	97,67	140	12	96,30
16	360	20	84,85	360	28	80,00
17	400	12	96,67	416	12	96,67
18	-	12	97,00	-	36	91,35
Rata-rata			91,69	Rata-rata		85,27
Deviasi			6.18	Deviasi		11.70

Pada Tabel 4.10 setelah air limbah diolah menggunakan reaktor biofilter aerobik, kandungan TSS pada efluen menggunakan media bioball waktu detensi 24 jam adalah

dengan kadar terendah pada sampling ke 3 20 mg/L dan kandungan tertinggi pada sampling ke 6 yang bernilai 360 mg/L. kemudian pada media pecahan genteng waktu detensi 24 jam kandungan TSS pada efluen reaktor, terendah pada sampling ke 2 yang bernilai 28 mg/L dan tertinggi pada sampling ke 6 dengan nilai 500 mg/L.

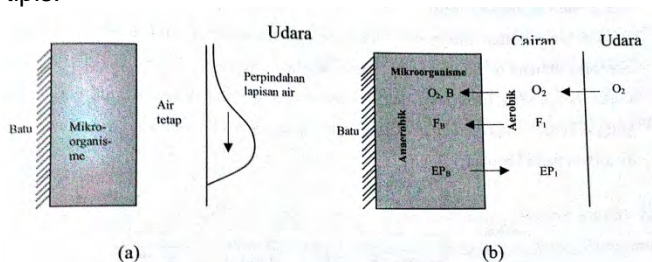
Pada waktu tinggal 48 jam kandungan TSS pada efluen menggunakan media bioball dengan kadar terendah pada sampling ke 14 dengan nilai 4 mg/L dan kandungan tertinggi pada sampling ke 13 yang bernilai 28 mg/L. Kemudian pada media pecahan genteng waktu detensi 48 jam kandungan TSS pada efluen reaktor, terendah pada sampling ke 14 yang bernilai 4 mg/L dan tertinggi pada sampling ke 13 dengan nilai 56 mg/L. Rata-rata removal TSS waktu detensi 24 jam reaktor *bioball* dapat sebesar 62,80 % dan pecahan genteng sebesar 60,40 %. Ketika waktu detensi dinaikkan menjadi 48 jam efisiensi removal semakin naik. Pada reaktor *bioball* removal TSS mencapai 92,63 % dan pada pecahan genteng mencapai 87,16 %. Hal ini menunjukkan semakin lama waktu tinggal maka semakin naik removal kandungan TSS, karena suspensi, koloid dapat diendapkan karena semakin lamanya waktu detensi yang digunakan. hal ini sesuai pernyataan Said (2002), bahwa semakin lama waktu kontak antara air limbah dengan media, maka efluen yang dihasilkan akan lebih kecil atau dengan kata lain efisiensi penyisihan akan menjadi tinggi. Penelitian yang dilakukan Said (2005), air limbah pencucian jeans yang diolah menggunakan biofilter anaerob-aerob media bioball dapat meremoval kandungan TSS mencapai 92% , hal ini menunjukkan bahwa aplikasi biofilter dalam pengolahan TSS dapat direduksi dan bahwa semakin lama waktu kontak antara air limbah dengan media, maka efluen yang dihasilkan akan lebih kecil atau dengan kata lain efisiensi penyisihan akan menjadi tinggi.

Grafik removal kandungan TSS pada Gambar 4.5 pada waktu detensi 24 jam cukup berfluktuatif. Pada removal ke 2 dan 5 (menggunakan waktu detensi 24 jam) menunjukkan removal TSS menurun, hal ini disebabkan karena koloid, suspensi yang jernih terakumulasi kemudian keluar bersama air efluen pengolahan. Koloid atau suspensi yang jernih ini dapat berasal dari biofilm yang terlepas pada media (*sloughing*). Kemudian pada waktu detensi 48 jam kondisi removal TSS cukup stabil.



Gambar 4.5 Nilai Removal TSS pada Reaktor

Mikroorganisme yang tumbuh pada media filter, kemudian membentuk lapisan anaerobik pada permukaan media (Gambar 4.6). Mikroorganisme akan bertumuk satu sama lain. Akibatnya mikroorganisme yang terdapat pada lapisan terbawah media akan kekurangan oksigen, karena telah terpakai oleh mikroorganisme yang berada pada bagian atas, sehingga terciptalah suasana anaerobik dilapisan mikroorganisme terbawah tersebut. Metabolisme yang berlangsung akan berhenti pada suatu saat ketika sel mati dan mengalami lisis. Kejadian ini menyebabkan terlepasnya lapisan mikroorganisme dari media filter, akan tetapi lapisan baru akan segera terbentuk kembali. Efisiensi tertinggi dicapai ketika terbentuk lapisan mikroorganisme yang tipis.



Gambar 4.6 Lapisan Mikroorganisme pada Media Filter

(a) posisi air limbah dan batu, (b) distribusi makanan dan oksigen

F = makanan, EP = produk akhir

Sumber : Trihadiningrum (2012)

Mikroorganisme yang dominan adalah bakteri aerob, anaerob fakultatif dan anaerob obligatif. Bakteri aerob *Bacillus*

terdapat pada lapisan atas, sedangkan bakteri anaerob *Desulfovibrio* terdapat pada lapisan bawah. Jenis bakteri anaerobik fakultatif yang biasa ditemukan adalah *Pseudomonas*. Umumnya mikroorganisme bakteri mempunyai diameter antara 0,2-3,0 μm dengan panjang bakteri berbentuk batang berkisar antara 0,5-15 μm .

Cendawan terdapat pada bagian yang kaya oksigen. Karena persaingannya dengan bakteri, umumnya hanya ditemukan sedikit pada pengolahan limbah biofiltrasi. Sedangkan ganggang terdapat pada jumlah yang terbatas, karena hanya mampu tumbuh pada daerah yang mendapat cahaya matahari. Ganggang tidak membantu stabilisasi limbah karena mengakibatkan penyumbatan pada filter (Trihadiningrum, 2012).

Analisis statistik removal TSS (hasil analisis statistik terdapat di Lampiran F) menunjukkan bahwa pada waktu detensi 24 jam data removal pada masing masing media menghasilkan $P\text{-value} = 0,88 (> 0,05)$, sehingga dapat disimpulkan bahwa pada waktu detensi 24 jam hasil removal TSS menggunakan media bioball dan pecahan genteng tidak terdapat signifikansi data/perbedaan yang jelas. Kemudian pada waktu detensi 48 jam menghasilkan $P\text{-value} = 0,19 (>0,05)$, sehingga dapat disimpulkan bahwa pada waktu detensi 48 jam hasil removal TSS menggunakan media bioball dan pecahan genteng tidak terdapat signifikansi data/perbedaan yang jelas.

4.6.6 Penurunan Tingkat Kekeruhan

Pengukuran kekeruhan dalam air berdasarkan intensitas cahaya yang dipendarkan oleh suspensi dalam air. Kekeruhan di dalam air disebabkan oleh adanya suspensi seperti lempung, lumpur, zat organik, plankton dan zat halus lainnya. Kekeruhan merupakan sifat optik dari suatu larutan, yaitu absorpsi dan pantulan cahaya yang melaluinya. Tidak dapat dihubungkan secara langsung antara kekeruhan dengan kadar suspensi, karena tergantung juga pada ukuran dan bentuk butir. Salah satu pengukuran kekeruhan dengan menggunakan metode Nefelometrik (unit kekeruhan nefelometrik FTU/NTU).

Hasil analisis tingkat kekeruhan pada penelitian ini pada Tabel 4.11. Hasil penelitian menyebutkan bahwa efluen pengolahan limbah *laundry* dari reaktor menunjukkan hasil yang

sangat baik dengan tingkat removal 90%. Hal ini dapat dilihat karena pada saat sampling air efluen terlihat bening/jernih.

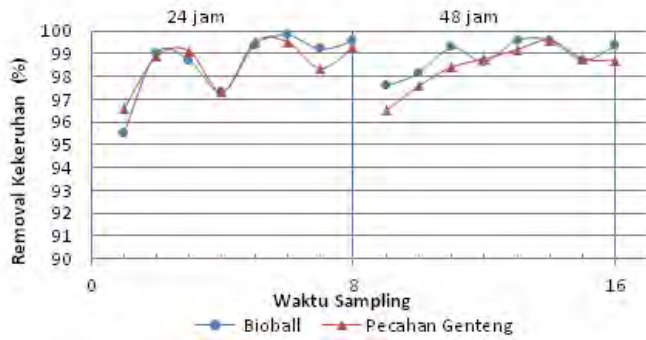
Tabel 4.11 Data Hasil Analisis Tingkat Kekeruhan

Waktu Sampling	Kekeruhan (NTU)					
	Media <i>Bioball</i>			Media Pecahan Genteng		
	Influen	Efluen	%Removal	Influen	Efluen	%Removal
Waktu tinggal 24 jam						
1	74	-	-	99	-	-
2	185	3,30	95,52	166	3,39	96,57
3	697	1,77	99,04	684	1,85	98,89
4	223	9,08	98,70	221	5,96	99,13
5	412	5,96	97,33	408	5,96	97,30
6	685	2,52	99,39	712	1,94	99,52
7	200	1,20	99,82	200	3,4	99,52
8	550	1,60	99,20	550	3,3	98,35
9	-	2,40	99,56	-	3,8	99,31
Rata-rata			98,57	Rata-rata		98,57
Deviasi			1,45	Deviasi		1,10
Waktu tinggal 48 jam						
10	112	-	-	114	-	-
11	135	2,70	97,59	137	4	96,49
12	330	2,50	98,15	340	3,3	97,59
13	141	2,40	99,27	139	5,4	98,41
14	250	1,90	98,65	270	1,7	98,78
15	370	1,00	99,60	380	2,2	99,19
16	234	1,50	99,59	255	1,5	99,61
17	348	3,00	98,72	350	3,1	98,78
18	279	2,30	99,34	289	4,5	98,71
19	313	2,00	99,28	328	2,9	99,00
20	-	1,60	99,49	-	2,4	99,27
Rata-rata			98,97	Rata-rata		98,58
Deviasi			0,68	Deviasi		0,91

Gambar 4.7 menunjukan grafik removal kekeruhan pada pengolahan ini cukup stabil dengan rentang removal sebesar 95-99%. Dengan demikian reaktor yang didesain sedemikian rupa dapat meningkatkan kualitas removal kekeruhan dengan baik.

Analisis statistik (hasil analisis statistik terdapat di Lampiran F) menunjukan bahwa pada waktu detensi 24 jam data removal pada masing masing media menghasilkan $P\text{-value} = 1$ ($> 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa pada waktu detensi 24 jam removal kekeruhan pada media bioball dan pecahan genteng tidak terdapat signifikasi data/perbedaan yang jelas. Kemudian pada waktu detensi 48 jam menghasilkan $P\text{-value} = 0,35$ ($> 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa pada waktu detensi 24 jam

removal kekeruhan pada media bioball dan pecahan genteng tidak terdapat signifikasi data/perbedaan yang jelas.



Gambar 4.7 Nilai Removal Kekeruhan pada Reaktor

- halaman ini sengaja dikosongkan -

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengolahan biofilter aerob dengan media *bioball* dan pecahan genteng untuk mengolah air limbah *laundry* cukup efektif mengurangi polutan yang terkandung dalam air limbah *laundry*. Hasil menggunakan waktu detensi 24 jam adalah sebagai berikut :
 - o Rata-rata penurunan COD pada media *bioball* adalah 66,01% dan pada media pecahan genteng adalah 82,40%.
 - o Rata-rata penurunan fosfat pada media *bioball* adalah 71,78% dan pada media pecahan genteng adalah 76,19%.
 - o Rata-rata penurunan deterjen pada media *bioball* adalah 98,11% dan pada media pecahan genteng adalah 97,82%.
 - o Rata-rata penurunan TSS pada media *bioball* adalah 73,26% dan pada media pecahan genteng adalah 60,40%.
 - o Rata-rata penurunan kekeruhan pada media *bioball* adalah 98,57% dan pada media pecahan genteng adalah 98,57%.Sedangkan hasil menggunakan waktu detensi 48 jam adalah sebagai berikut :
 - o Rata-rata penurunan COD pada media *bioball* adalah 88,67% dan pada media pecahan genteng adalah 92,22%.
 - o Rata-rata penurunan fosfat pada media *bioball* adalah 84,06% dan pada media pecahan genteng adalah 87,74%.
 - o Rata-rata penurunan deterjen pada media *bioball* adalah 99,32% dan pada media pecahan genteng adalah 99,43%.
 - o Rata-rata penurunan TSS pada media *bioball* adalah 91,69% dan pada media pecahan genteng adalah 85,27%.
 - o Rata-rata penurunan kekeruhan pada media *bioball* adalah 98,97% dan pada media pecahan genteng adalah 98,58%.
2. Semakin lama waktu tinggal pengolahan yang digunakan semakin besar penurunan parameter. Pada penelitian ini tingkat penurunan parameter menggunakan waktu tinggal 48 jam lebih tinggi dari pada menggunakan waktu tinggal 24 jam. Sedangkan variasi jenis media biofilter mempengaruhi tingkat

penurunan parameter. Penurunan parameter kimia yakni COD, fosfat dan deterjen lebih baik pada reaktor pecahan genteng, dengan hasil sebagai berikut :

- Penurunan COD sebesar 92,22% pada reaktor pecahan genteng dengan waktu detensi 48 jam.
- Penurunan fosfat sebesar 87,74% pada reaktor pecahan genteng dengan waktu detensi 48 jam.
- Penurunan deterjen sebesar 99,43% pada reaktor pecahan genteng dengan waktu detensi 48 jam.

Sedangkan penurunan parameter fisik yakni TSS dan kekeruhan lebih baik pada reaktor *bioball*, dengan hasil sebagai berikut :

- Penurunan TSS sebesar 91,69% pada reaktor *bioball* dengan waktu detensi 48 jam.
- Penurunan kekeruhan sebesar 98,97% pada reaktor *bioball* dengan waktu detensi 48 jam.

5.2 Saran

Saran yang dapat untuk menyempurnakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui removal kandungan ammonia dalam pengolahan.
- Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai variasi jenis air yang digunakan saat *seeding* dan aklimatisasi.
- Perlu penelitian lebih lanjut mengenai bentuk mikroskopis dari biofilm yang menempel pada media.

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN A Dokumentasi Penelitian di Workso

LAMPIRAN B Dokumentasi Analisis di Laboratorium

LAMPIRAN C Pembuatan Reagen dan Prosedur Analisis

LAMPIRAN D Perhitungan Waktu Tinggal – HRT

LAMPIRAN E Perhitungan HLR – *Hydraulic Loading Rate*

LAMPIRAN F Analisis Statistik

LAMPIRAN G Perhitungan Kebutuhan Oksigen

LAMPIRAN H Perhitungan OLR – *Organic Loading Rate*

LAMPIRAN I Rancangan Unit Pengolahan Sederhana Limbah
Laundry

DAFTAR PUSTAKA

- APHA, AWWA, WPCF. 1999. ***“Standard Method for Examination of Water and Wastewater”***. Washington.
- Barnard J L dan Stensel H D. 2012. ***“Biological Nutrient Removal”***. Seminar at Carroll College, Supported by Montana Water Environment Association
- BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi). 2002. ***“Teknologi Pnegolahan Limbah Cair Industri”***. Jakarta. ISBN : 979-8465-38-5
- Aufiyah. 2013. ***“Pengolahan Limbah Laundry dengan menggunakan Membrane Nano Filtrasi Silica Aliran Cross Flow untuk Menurunkan Kekeruhan dan phospat”***. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS
- Characklis, W.G. dan Marshall, K.C. 1990. ***“Biofilm : a basis for an interdisciplinary approach”***. New York.
- Connel dan Muller. 1995. ***“Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran”***, diterjemahkan oleh Yanti Koestoer. Penerbit Universitas Indonesia.
- Dewanti, Hariyadi. 1997. ***“Ulasan Ilmiah: Pembentukan biofilm bakteri pada permukaan padat. Ilmu dan Teknologi pangan”*** I : 70-25. IPB : Bogor.
- Dewanti, R dan Wong A. 1995. ***“Influence of culture conditions on biofilm”*** formation by Escherichia coli. Int J. Food Microbiol. 26 : 147-161.
- Edahwati, L dan Suprihatin. 2009. ***“Kombinasi Proses Aerasi, Adsorpsi dan Filtrasi pada Pengolahan Limbah Industri Perikanan”***. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan; Vol.1 No.2
- Environmental Protection Agency (EPA) Report. 1999. ***“Environmental Pollutants of Soil, Water and Air in West-tabriz Industrial Region”***. Annual Report : EPA Publication, Tabriz Industrial – Iran
- Japan Sewege Work Assosiation, 1984. ***“Gesuido Shisetsu Sekkei Shisin to Kaisetsu”***. Nihon Gesuidou Kyoukai dalam BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi). 2002. ***“Teknologi Pnegolahan Limbah Cair Industri”***. Jakarta. ISBN : 979-8465-38-5
- Gorbach, S. 1990. ***“Lactic Acid Bacteria and Human Health”***. Ann' Med' 22:37-41.

- Hasan, H A, Siti R S A, Siti K K dan Noorhisham T K. 2009. ***“A Review on The Design Criteria of Biological Aerated Filter for COD, Ammonia and Manganese Removal in Drinking Water Treatment”***. Journal of Universiti Kebangsaan Malaysia 24.04.09 Department of Chemical and Process Engineering
- Indriani, T. 2010. ***“Studi Efisiensi Paket Pengolahan Grey Water Model Kombinasi ABR-Anaerobic Filter”***. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS
- Khusnuryani. A. 2008. ***“Mikrobia Sebagai Agen Penurun Fosfat Pada Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit”***. Fak.Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
- Madigan, M T, Martinko, J M dan J Parker. 1997. ***“Brock : Biologi of Microorganism 8th ed”***. USA : Prentice – Hall dalam Laksono, S. 2012. ***“Pengolahan Limbah Batik dengan Media Biofilter”***. Skripsi Fakultas Teknik Program Studi Teknik Lingkungan UI
- Mann. D., De Bryun J. C dan Zhang Q. 2002. ***“Design and Evaluation of an Open Biofilter for Treatment of Odor”***. Technical Note
- Mardiana, E. Purwanto E. Budijono. 2014. ***“The Decrease Of Nitrate and Phosphate On Tofu Liquid Waste By Combined Biofilter and Eichhornia crassipes (Mart) Solms For Fish Life Media”***. Universitas Riau JOM
- Matthews, R dan Weiner, R F. 2003. ***“Environmental Engineering 4th Edition”***. USA : Elsevier Science
- Mecalf dan Eddy. 2003 ***“Waste Water Engineering Treatmentc Fourth Edition”***. McGraw-Hill : USA
- Nugroho, Sumiyati dan Mochtar Hadiwidodo. 2011. ***“Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Industri Pencucian Pakaian (LAUNDRY) dengan Teknologi Biofilm Menggunakan Media Filter Serat Plastik dan Tembikar dengan Susunan Random”***. Jurnal Teknik Lingkungan FT UNDIP
- Nasir S dan Budi H. 2011. ***“Pengolahan Air Limbah Hasil Proses Laundry Menggunakan Filter Keramik Berbahan Campuran Tanah Liat Alam dan Zeolit”*** Laporan Penelitian Hibah Kompetitif Teknik Kimia Universitas Sriwijaya

- Padmaningrum, R T. Aminatun, T. dan Yuliati. 2014. **“Pengaruh Biomasa Melati Air dan Teratai Terhadap Kadar Fosfat, BOD, COD, TSS dan Derajat Keasaman Limbah Laundry”**. Jurnal Penelitian SAINTEK Vol. 19 No.2 FMIPA Uneversitas Negeri Yogyakarta
- Peraturan Gubernur Jawa Timur. 2013. **“Peraturan Gubernur Jawa Timur Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Usaha Lainnya”**. Surabaya : Gubernur Jawa Timur
- Puspitahati C. 2012. **“Studi Kinerja Biosand Filter dalam Mengolah Limbah Laundry dengan Parameter Fosfat”**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS
- Rakhmawati , A P. 2012. **“Pengolahan Air Limbah Laundry dengan Reaktor Biofilter dan Koagulasi Flokulasi”** Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS
- Rosariawari, F. 2010. **“Efektivitas Multivalen Ion dalam Penurunan Kadar Fosfat sebagai Bahan Pembentuk Deterjen”**. Jurusan Teknik Lingkungan : Universitas Pembangunan Nasinonal Veteran (UPN)
- Rudi, La., Suratnno, W., Paundanan. 2004. **“Perbandingan Penentuan Surfaktan Anionik dengan Spektrofotometer UV-ST Menggunakan Pengompleks Malasit Hijau dan Metilen Biru”**. Jurnal Kimia Lingkungan Vol.6 (1).
- Rustanto D Y. 2013. **“Pengolahan Air Limbah Laundry dengan Biofilter dan Karbon Aktif”** . Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS
- Said, N I. 2001. **“Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Proses Biologis Biakan Melekat Menggunakan Media Plastik Sarang Tawon”**. Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 2 (3) hal. 223 – 240. Jakarta
- Said, N I. 2005. **“Aplikasi Bioball untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jeans”**. JAI Vol. 1 (1) Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi lingkungan, BPPT. Jakarta
- Sasse, L. 1998. **“DEWATS Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries”**. Delhi : Borda
- Sawyer, Clair N dan Perry L. McCarty,. 1994. **“Chemitry for Environmental Engineering”**. Edisi Ke 3. Mc Graw Hill book Company : New York

- Slamet, A dan Masduqi, A. 2000. **"Satuan Proses"**. Surabaya : Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Sukawati, A. 2008. **"Penurunan Kosentrasi COD pada Limbah Laundry dengan Menggunakan Reaktor Biosandfilter Diikuti dengan Reaktor Activated Carbon"**. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia
- Switarto B dan Sugito, 2012. **"Aplikasi Biofilter Aerobik untuk Menurunkan Deterjen pada Air Limbah Laundry"**. Jurnal Teknik Waktu Vol. 10 Nomor 02 – Juli 2012 – ISSN : 1412-1867
- Trihadiningrum, Y. 2012. **"Mikrobiologi Lingkungan (Edisi Pertama)"**. Surabaya : ITS Press
- Turk. S S, Petrinic I., dan Simoncic M. 2005. **"Laundry Wastewater Treatment Using Coagulation and Membrane Filtration"**. Jurnal Resources, Conservation and Recycling. 44 : 185 – 196
- Umayu W. 2013. **"Aerasi dan Biorack Wetland sebagai Pengolahan Air Limbah Laundry"**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS
- Willey, Sherwood, Wolverton. 2008. **"Prescott Harley Klein Microbiology"**. USA : McGraw Hill Companies. dalam Laksono, S. 2012. **"Pengolahan Limbah Batik dengan Media Biofilter"**. Skripsi Fakultas Teknik Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia

LAMPIRAN A
Dokumentasi Penelitian di *Workshop*

a. Komponen Reaktor



Pecahan Genteng



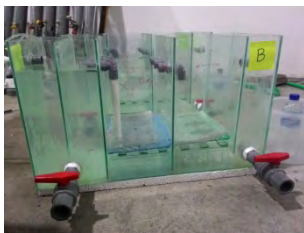
Bioball



Bak Pengatur Debit dan Bak
Penampung Limbah



Selang Infus



Reaktor Kaca



Efluen Reaktor





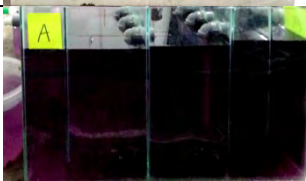
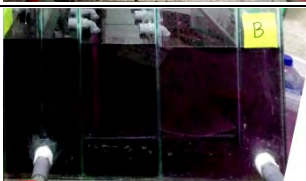


Air Pump



Reaktor Berisi Media

b. Tracer Warna - Uji HRT (Hydraulic Retention Time)

Jam ke-	Reaktor A	Reaktor B
0		
12		
24		
Ket.	Setelah 24 jam warna disetiap kompartemen sama	Setelah 24 jam warna disetiap kompartemen sama

c. Tahap *Seeding*



Sungai Arif R. Hakim



Tepat di Sisi Media Dilapisi Kain Gelap



Air Limbah Domestik untuk *Seeding*



Bioball yang Ditumbuhi Lumut/Alga Karena terpapar Sinar Matahari



Sisi Atas Reaktor Dilapisi Kasa



Sampel *Seeding*

d. Tahap Aklimatisasi



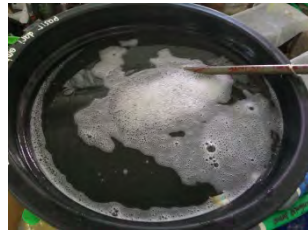
Pengukur perbandingan



Contoh Perbandingan



Kondisi Bak Penampung Limbah



Kondisi Bak Pengatur Debit



Sampel Aklimatisasi

e. Tahap *Running*



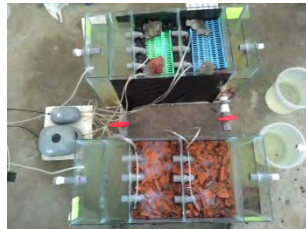
Larutan *Antifoam*



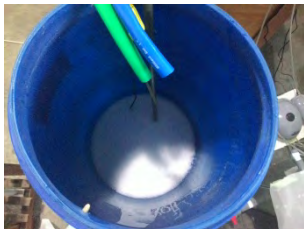
Antifoam (Tampak Atas)



Air Limbah *Laundry*



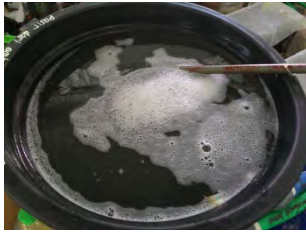
Kondisi Reaktor saat *Running*



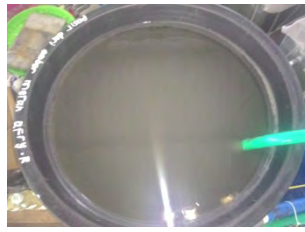
Kondisi Bak Penampung
Limbah



Kondisi Bak Penampung Limbah
setelah diberi *Antifoam*



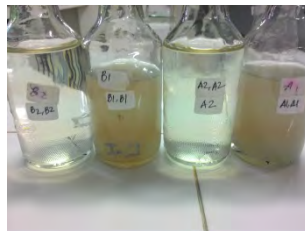
Kondisi Bak Pengatur Debit Limbah



Kondisi Bak Pengatur Debit Limbah setelah diberi *Antifoam*



Contoh Sampel *Running*



Contoh Sampel *Running*

f. Pengambilan Sampel



Sampling Influen



Sampling Efluen

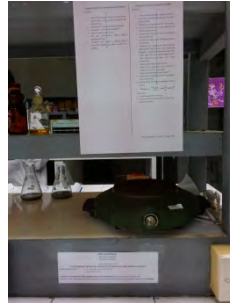
LAMPIRAN B

Dokumentasi Analisis di Laboratorium

1. Meja Kerja

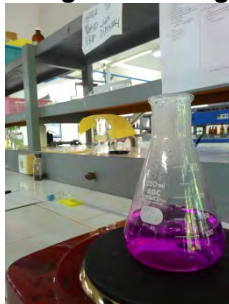


Meja Kerja Lasilfi

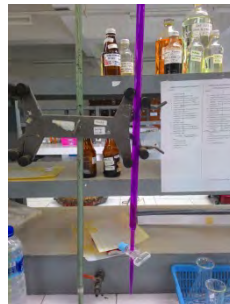


Meja Kerja Lab. Air

2. Uji Bilangan Permanganat (PV)



Memanaskan Sampel



Titrasi

3. Uji Kandungan COD (*Chemical Oxygend Demand*)



Memanaskan Sampel



Hasil Titration COD

4. Uji Kandungan Fosfat

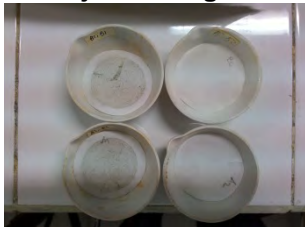


Spektrofotometer



Uji Sampel Fosfat

5. Uji Kandungan TSS (*Total Suspended Solid*)



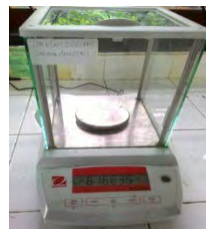
Uji Sampel TSS



Oven



Vaccum Pump



Neraca Analitik



Dessicator



Kertas Saring Whatman No. 42

6. Uji Tingkat Kekeruhan



Turbidimeter

7. Uji Nilai pH



pH Meter

- halaman ini sengaja dikosongkan -

LAMPIRAN C

Pembuatan Reagen dan Prosedur Analisis Parameter

1. Bilangan Permanganat (PV)

a. Pembuatan Reagen

- Larutan KMnO_4 0,1 N (Larutan Stok)
 - o Larutkan 3,16 gr KMnO_4 dalam 1 liter aquades.
 - o Didihkan selama 10-15 menit.
 - o Biarkan diruang gelap selama 3 hari.
- Larutkan KMnO_4 0,01 N
 - o Pipet larutan KMnO_4 0,1 N sebanyak 100 ml.
 - o Diencerkan dengan aquadest sampai 1 liter.
- Asam Oksalat 0,1 N
 - o Imbang dengan teliti 6,3 gram asam oksalat.
 - o Larutkan dalam labu ukur 1 liter dengan aquades.
 - o Tambahkan 50 ml H_2SO_4 4 N.
 - o Encerkan sampai tanda batas.
- Larutan asam oksalat 0,01 N
 - o Pipt larutan asam oksalat 0,1 N sebanyak 100 ml, tambah 10 ml H_2SO_4 6 N.
 - o Encerkan dengan aquadest dalam 1 liter.
- Larutan H_2SO_4 bebas organik
 - o Encerkan 111 ml H_2SO_4 pekat dengan aquades sampai 1 liter.
 - o Tambahkan KMnO_4 0,01 N sampai warna merah muda.
 - o Didihkan sampai mendidih selama 10 menit.
 - o Jika warna merah muda hilang tambahkan lagi KMnO_4 0,01 N sampai warna tipis tetap.

b. Prosedur Analisis

- Tuangkan sampel air sebanyak 100 mL dengan menggunakan erlenmeyer 250 ml.
- Tambahkan 2,5 mL Asam Sulfat 4 N bebas organik.
- Tambahkan beberapa tetes larutan Kalium Permanganat (KMnO_4) 0,01 N hingga terjadi warna merah muda.
- Panaskan hingga mendidih selama 1 menit.

- Tambahkan 10 mL larutan Kalium Permanganat (KMnO_4) 0,01 N.
- Panaskan hingga mendidih selama 10 menit.
- Tambahkan 1 mL larutan Asam Oksalat 0,1 N dan tunggu sampai air menjadi jernih.
- Titrasi dengan Kalium Permanganat (KMnO_4) 0,01 N sampai timbul warna merah muda.
- Hitung nilai Permanganat dengan menggunakan rumus berikut:

$$PV \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{1000}{\text{volume sampel}} \times \{[(10 + a) \times N] - (1 \times 0,1)\} \times 31,6 \times P$$

dimana

a = mL titrasi larutan Kalium Permanganat (KMnO_4)

N = normalitas larutan Kalium Permanganat

P = pengenceran

2. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

a. Pembuatan Reagen

- Larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25 N
 - o Timbang dengan teliti 12,259 gr $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
 - o Larutkan dalam 1 liter dengan aquades sampai batas .
 - o Bila 0,1 N timbang 4,9036 gr lalu encerkan sampai 1 liter.
- Larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,025
 - o Larutkan 98 gr $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam aquades.
 - o Tambah 20 ml H_2SO_4 pekat.
 - o Encerkan dengan aquades sampai 1 liter.
- (FAS 0,1 N, larutkan 39,2 gr FAS dalam aquadest + 8 ml H_2SO_4 pekat lalu encerkan dengan aquadest sampai 1 liter.
- Standarisasi FAS
 - o Pipet 25 ml $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25 N.
 - o Tambah 20 ml H_2SO_4 pekat.
 - o Tambah 3 tetes indikator ferroin.
 - o Titrasi dengan FAS .
 - o Hitung dengan rumus titrasi.

- H₂SO₄ dengan Ag₂SO₄
 - o Larutkan 22 gr Ag₂SO₄ dalam 9 liter H₂SO₄ pekat .
 - o Jika 10 gr Ag₂SO₄ dalam 1 l H₂SO₄ pekat biarkan 1 malam.
- Kristal HgSO₄
- Larutan indikator Ferroin
 - o Larutkan 1,485 orthopenanthrolin dan 0,695 gr FeSO₄ dalam 100 ml aquades.

b. Prosedur Analisis

- Diambil sampel 10 ml.
- Diencerkan sampel sesuai kebutuhan.
- Sampel dan blanko (aquades) diambil masing-masing 2,5 ml dan diletakan di tabung COD.
- Ditambah 2 ml larutan K₂Cr₂O₇.
- Ditambah 3,5 *sulfuric acid*, kocok hingga homogen.
- Nyalakan pemanas.
- Letakan kedua tabung COD diatas alat pemanas hingga mendidih selama 2 jam.
- Menjaga agar warna tetap jingga, bila tidak tambahkan 2 ml larutan K₂Cr₂O₇ jingga muda.
- Matikan alat pemanas setelah 2 jam, biarkan sampai dingin.
- Bilas dengan aquades.
- Tambahkan 1 tetes indikator ferroin .
- Titrasi dengan larutan FAS 0,1 N hingga warna biru kehijauan berubah menjadi merah kecoklatan yang tidak hilang 1 menit.
- Hitung dengan rumus :

$$\text{COD} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{\text{volume sampel}} \times f \times p$$

dimana

a = mL FAS titrasi blanko

b = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

f = faktor (20 : titran blanko ke dua)

p = pengenceran

3. Fosfat

a. Pembuatan Reagen

- Larutan Ammonium Molybdate
 - o Larutkan 25 gr $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dalam 175 ml aquades.
 - o Tambahkan 280 ml H_2SO_4 pekat, encerkan dengan aquadest dalam 1 liter.
- Larutan SnCl_2
 - o Larutkan 2,5 gr $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dalam labu ukur 1 liter dengan aquades.
- Larutan standar fosfat
 - o Encerkan 200 ml larutan SnCl_2 fosfat dengan aquadest sampai 1 liter.
- Strong *acid solution*
 - o Campurkan 400 ml H_2SO_4 pekat dg 4 ml HNO_3 pekat.
 - o encerkan dengan aquades sampai 1 liter.
- prosedur kalibrasi
 - o 50 ml sampel + 2 ml larutan ammonium molibdate + 3 tetes SnCl_2 dalam erlenmeyer.
 - o Kocok dan biarkan selama 10 menit.
 - o Baca dengan spektrofotometer menggunakan panjang gelombang 650 nm.

b. Prosedur Analisis

- Ambil 2 buah erlenmeyer 100 mL isi masing-masing dengan sampel air dan aquades (sebagai blanko) sebanyak 25 mL.
- Tambahkan 1 mL larutan Ammonium Molibdate
- Tambahkan 2-3 tetes larutan klorid timah.
- Aduk dan biarkan selama 7 menit.
- Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 650 nm.
- Absorbansi hasil pembacaan, dihitung dengan rumus hasil kalibrasi atau dibaca dengan kurva kalibrasi.

4. TSS (*Total Suspended Solid*)

Prosedur Analisis

- Cawan porselin dipanaskan dengan suhu 50° C selama 1 jam, setelah itu dimasukkan ke oven 105° C selama 15 menit.
- Masukkan kertas saring ke oven 105° C selama 1 jam.
- Cawan porselin dan kertas saring (Whatman No.42) dimasukkan ke desikator selama 15 menit.
- Timbang cawan porselin dan kertas saring dengan neraca analitik (a g).
- Letakan kertas saring yang telah ditimbang pada *vacuum pump*.
- Tuangkan 25 ml sampel di atas filter yang telah dipasang pada *vacuum pump*, volume sampel yang digunakan tergantung kepekataannya, jika dinilai terlalu pekat, perlu diencerkan hingga di dapat angka pengenceran yang tepat. Catat volume sampel (c ml).
- Tunggu sampel hingga kering atau habis.
- Letakan kertas saring pada cawan porselin dan masukan ke oven 105° C selama 1 jam.
- Masukkan dalam desikator selama 15 menit.
- Timbang cawan porselin dan kertas saring dengan neraca analitik (c g).
- Hitung jumlah TSS dengan menggunakan rumus berikut

$$\text{TSS (mg/l)} = \frac{b \text{ g} - a \text{ g}}{c \text{ ml}} \times 1000 \frac{\text{mg}}{\text{g}} \times 1000 \frac{\text{ml}}{\text{l}}$$

Keterangan

- a = cawan kosong hasil sterilisasi (g)
- b = cawan residu dan residu setelah di oven 105° C (g)
- c = volume sampel (ml)

5. Kekeruhan

Prosedur Analisis

- Nyalakan power, kemudian masukan blanko dan set alat tersebut pada zero.
- Masukan sampel air ke dalam tabung dan masukan ke dalam turbidimeter.
- Catat angka yang dihasilkan.

6. pH

Prosedur Analisis

- Siapkan sampel pada wadah terbuka.
- Celubkan probe pH meter ke dalam sampel.
- Tunggu hingga angka yang ditunjukkan pada pH meter konstan.

LAMPIRAN D
Perhitungan Waktu Tinggal
HRT (*Hydraulic Retention Time*)

➔ Waktu Tinggal 24 jam Media *Bioball*

a	Settler awal				
	Debit Air Limbah (Q)	=	67,1 liter	=	67,1 liter/hari
				=	2,79 liter/jam
				=	46 ml/menit
	Volume Efektif/Basah	=	20x30x33	=	19800 cm3
				=	19,8 liter
	Waktu Tinggal di Pengendapan Awal (T1)	=	Volume Basah / Q	=	7,08 jam
b	Zona Biofilter Aerob				
	Jumlah Kompartemen	=	2 buah		
	Volume Efektif/Basah	=	2 x (20x30x33)	=	39600 cm3
				=	39,6 liter
	Volume Total Unggun Medium	=	2x(20x30x25)	=	30000 cm3
				=	30 liter
	Porositas Medium				
	Pecahan Genteng	=	0,83		
	Bioball	=	0.93		
	Volume Medium Tanpa Rongga				
	Bioball	=	0.07x30000	=	2100 cm3
				=	2.4 liter
	Total Volume Rongga dalam Medium				
	Bioball	=	0.93 x 30000	=	27900 cm3
				=	27.9 liter
	Waktu Tinggal di				

	Zona Aerob (T2)					
	Bioball	=	$(39,6 - 2,4) \text{ liter} / (2,79 \text{ liter/jam})$	=	13,33	jam
	Waktu Kontak di Zona Aerob					
	Pecahan Genteng	=	$(30 - 5,1) \text{ liter} / (2,79 \text{ liter/jam})$	=	8,9	jam
	Bioball	=	$(30 - 2,4) \text{ liter} / (2,79 \text{ liter/jam})$	=	9,9	jam
d	Settler Akhir					
	Volume Efektif/Basah	=	10x30x33	=	9900	cm ³
				=	9,9	liter
	Waktu Tinggal di Pengendapan Awal (T3)	=	Volume Basah / Q	=	3,5	jam
e	Total Waktu Detensi					
	Bioball	=	T1 + T2 + T3	=	24	jam

Sumber : Said, 2005

→ Waktu Tinggal 24 jam Media Pecahan Genteng

a	Settler awal				
	Debit Air Limbah (Q)	=	59,9 liter	=	59,9 liter/hari
					2,6 liter/jam
				=	42 ml/menit
	Volume Efektif/Basah	=	20x30x33	=	19800 cm3
				=	19,8 liter
	Waktu Tinggal di Pengendapan Awal (T1)	=	Volume Basah / Q	=	7,6 jam
b	Zona Biofilter Aerob				
	Jumlah Kompartemen	=	2 buah		
	Volume Efektif/Basah	=	2 x (20x30x33)	=	39600 cm3
				=	39,6 liter
	Volume Total Unggun Medium	=	2x(20x30x25)	=	30000 cm3
				=	30 liter
	Porositas Medium				
	Pecahan Genteng	=	0,83		
	Bioball	=	0.93		
	Volume Medium Tanpa Rongga				
	Pecahan Genteng	=	0.17x30000	=	5100 cm3
				=	5,1 liter
	Total Volume Rongga dalam Medium				
	Pecahan Genteng	=	0.83 x 30000	=	24900 cm3
				=	24,9 liter
	Waktu Tinggal di Zona Aerob (T2)				
	Pecahan Genteng	=	(39,6 - 5,1) liter / (2,6 liter/jam)	=	13.2 jam

	Waktu Kontak di Zona Aerob					
	Pecahan Genteng	=	(30-5,1) liter/ (2,6 liter/jam)	=	9.5	jam
d	Settler Akhir					
	Volume Efektif/Basah	=	10x30x33	=	9900	cm ³
				=	9,9	liter
	Waktu Tinggal di Pengendapan Awal (T3)	=	Volume Basah / Q	=	3,8	jam
e	Total Waktu Detensi					
	Pecahan Genteng	=	T1 + T2 + T3	=	24	jam

Sumber : Said, 2005

LAMPIRAN - E

Perhitungan *Hydraulic Loading Rate* - HLR

Hydraulic loading rate adalah parameter yang sering digunakan untuk menghitung volume reaktor. *Hydraulic load* menyatakan volume limbah yang dipakai per volume reaktor, atau per permukaan filter dalam waktu tertentu. Satuan yang sering digunakan adalah $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$, yang mana berarti 1 m^3 air limbah dipakai per 1 m^2 volume reaktor perhari. Kebalikan dari nilai ini adaah menunjukkan *hydraulic retention time* (HRT). HLR juga dapat merupakan kecepatan aliran di dalam reaktor. faktor ini biasa menjadi perhatian pada reaktor *up flow*, dimana kecepatan *up flow* air harus lebih rendah dibanding kecepatan pengendapan partikel/lumpur. Untuk menghitung kecepatan *up flow* pada reaktor, debit limbah per jam dibagi dengan luas permukaan masing-masing ruang ($v=Q/A$) (Sasse, 1998). Pada lampiran ini perhitungan HLR untuk menentukan nilai HLR dan kecepatan air limbah. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

A. Media *Bioball*

■ Pengendapan Awal

- Dimensi bak
 - o Jumlah kompartemen : 2
 - o Panjang : 5 cm
 - o Lebar : 30 cm
 - o Kedalaman air : 33 cm
 - o Tinggi total : 40 cm
 - o Freeboard : 7 cm
- Debit = 67,1 L/hari = 0,0671 m^3/hari
- Volume = $p \times l \times t$ = 2 (10 x 30 x 33)
= 19800 cm^3 = 19,8 L
- $$\text{HLR total} = \frac{Q}{A} = \frac{0,0671 \text{ m}^3/\text{hari}}{2 \times (0,1 \times 0,3) \text{ m}^2} = 1,118 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$
- Kecepatan setiap kompartemen = $6,144 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

■ *Aerobic Filter*

- Dimensi filter
 - o Jumlah kompartemen : 2
 - o Tinggi media : 25 cm
 - o Muka air di atas filter : 3 cm

- o Tinggi penyangga filter : 5 cm
 - o Tinggi muka air total : 33 cm
- Media Filter (*bioball*)
 - o Ukuran media 3 cm
 - o Volume area media total $= 2 \times (20 \times 30 \times 25) \text{ cm}^3 = 30 \text{ L}$
 - o Volume void $= 27900 \text{ mL}$
 $= 27,9 \text{ L}$
(volume total unggun medium x %rongga)
 - o Volume media : volume total – volume void
 $= 30 \text{ L} - 27,9 \text{ L} = 2,1 \text{ L}$
 - o Poroitas media : $\frac{27,9}{30} = 0,93$
- Volume penyangga filter $= 2 \times (20 \times 30 \times 5) = 6 \text{ L}$
- Volume air di atas media filter $= 2 \times (20 \times 30 \times 3) = 3,6 \text{ L}$
- Debit $= 67,1 \text{ L/hari}$
 $= 0,0671 \text{ m}^3/\text{hari}$
- HLR pada filter

$$\text{HLR 1} = \frac{Q}{A \times \varepsilon} = \frac{0,0671 \text{ m}^3/\text{hari}}{2 \times (0,2 \times 0,3) \text{ m}^2 \times 0,93} = 0,601 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$\text{Kecepatan 1} = 0,601 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$= 0,601 \text{ m}/\text{hari} = 0,601/36400 \text{ m/s}$$

$$= 1,65 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$\text{Kecepatan filtrasi} = 1,65 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$\text{HLR 2} = \frac{Q}{A} = \frac{0,0671 \text{ m}^3/\text{hari}}{2 \times (0,2 \times 0,3) \text{ m}^2} = 0,559 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$\text{Kecepatan 2} = 1,53 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$
- HLR rata-rata

$$\text{HLR} = \frac{v_1 h_1 + v_2 h_2}{(h_1 + h_2)}$$

$$= \frac{\left(0,601 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}} \times 0,25 \text{ m}\right) + \left(0,559 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}} \times 0,08 \text{ m}\right)}{(0,25 \text{ m} + 0,08)}$$

$$= 0,591 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}}$$

$$\text{Kecepatan rata-rata} = 1,62 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

■ Pengendapan Akhir

- Dimensi bak
 - o Jumlah kompartemen : 1
 - o Panjang : 10 cm
 - o Lebar : 30 cm
 - o Kedalaman air : 33 cm

- Tinggi total : 40 cm
- Freeboard : 7 cm
- Debit = 67,1 L/hari
= 0,0671 m³/hari
- Volume = p x l x t = 2 (10x30x33)
= 19800 cm³
= 19,8 L
- HLR total $\frac{Q}{A} = \frac{0,0671 \text{ m}^3/\text{hari}}{(0,1 \times 0,3) \text{ m}^2} = 2,237 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$
- Kecepatan (*up-flow*) = 6,144 x 10⁻⁵ m/s

B. Media Pecahan Genteng

■ Pengendapan Awal

- Dimensi bak
 - Jumlah kompartemen : 2
 - Panjang : 5 cm
 - Lebar : 30 cm
 - Kedalaman air : 33 cm
 - Tinggi total : 40 cm
 - Freeboard : 7 cm
- Debit = 59,9 L/hari = 0,0599 m³/hari
- Volume = p x l x t = 2 (10 x 30 x 33)
= 19800 cm³ = 19,8 L
- HLR total $= \frac{Q}{A} = \frac{0,0599 \text{ m}^3/\text{hari}}{2 \times (0,1 \times 0,3) \text{ m}^2} = 0,998 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$
- Kecepatan setiap kompartemen = 5,48 x 10⁻⁵ m/s

■ Aerobic Filter

- Dimensi filter
 - Jumlah kompartemen : 2
 - Tinggi media : 25 cm
 - Muka air di atas filter : 3 cm
 - Tinggi penyangga filter : 5 cm
 - Tinggi muka air total : 33 cm
- Media Filter (pecahan genteng)
 - Ukuran media 3 cm
 - Volume area media total = 2x(20x30x25)cm³ = 30 L
 - Volume void = 24900 mL
= 24,9 L
(volume total unggun medium x %rongga)

- Volume media : volume total – volume void
= 30 L – 24,9 L = 5,1 L
- Poroitas media : $\frac{24,9}{30}$ = 0.83
- Volume penyangga filter = $2 \times (20 \times 30 \times 5) = 6 \text{ L}$
- Volume air di atas media filter = $2 \times (20 \times 30 \times 3) = 3,6 \text{ L}$
- Debit = 59,9 L/hari
= $0,0599 \text{ m}^3/\text{hari}$
- HLR pada filter

$$\text{HLR 1} = \frac{Q}{A \times \varepsilon} = \frac{0,0599 \text{ m}^3/\text{hari}}{2 \times (0,2 \times 0,3) \text{ m}^2 \times 0,83} = 0,601 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$\text{Kecepatan 1} = 0,601 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$= 0,601 \text{ m}/\text{hari} = 0,601/36400 \text{ m/s}$$

$$= 1,65 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$\text{Kecepatan filtrasi} = 1,65 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$\text{HLR 2} = \frac{Q}{A} = \frac{0,599 \text{ m}^3/\text{hari}}{2 \times (0,2 \times 0,3) \text{ m}^2} = 0,559 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$\text{Kecepatan 2} = 1,53 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$
- HLR rata-rata

$$\text{HLR} = \frac{v_1 h_1 + v_2 h_2}{(h_1 + h_2)}$$

$$= \frac{\left(0,601 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}} \times 0,25 \text{ m}\right) + \left(0,559 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}} \times 0,08 \text{ m}\right)}{(0,25 \text{ m} + 0,08)}$$

$$= 0,591 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}}$$

$$\text{Kecepatan rata-rata} = 1,62 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

■ Pengendapan Akhir

- Dimensi bak
 - Jumlah kompartemen : 1
 - Panjang : 10 cm
 - Lebar : 30 cm
 - Kedalaman air : 33 cm
 - Tinggi total : 40 cm
 - Freeboard : 7 cm
- Debit = 59,9 L/hari
= $0,0599 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Volume = $p \times l \times t = 2 (10 \times 30 \times 33)$
= 19800 cm^3
= 19,8 L

- HLR total $\frac{Q}{A} = \frac{0,0599 \text{ m}^3/\text{hari}}{(0,1 \times 0,3) \text{ m}^2} = 1,996 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$
- Kecepatan (*up-flow*) $= 5,48 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

Sumber : Indriani, 2010

Kriteria desain HLR pada trickling filter :

PARAMETER	TRICKLING FILTER STANDAR	TRICKLING FILTER (HIGH RATE)
Beban Hidrolik $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$	0,5 - 4	8 - 40
Beban BOD $\text{kg}/\text{m}^3.\text{hari}$	0,08 - 0,4	0,4 - 4,7
Jumlah Mikroorganisme ($\text{kg}/\text{m}^3.\text{media}$)	4,75 - 7,1	3,3 - 6,5
Stabilitas Porses	Stabil	Kurang Stabil
BOD Air Olahan	≤ 20	Fluktuasi
Nitrat dalam Air Olahan	Tinggi	Rendah
Efisiensi Pengolahan	90 -95	± 80

Sumber : Gesuidou Shisetsu Sekkei Shishin to Kaisetsu, Nihon Gesuidou Kyoukai (Japan Sewage Work Assosiation), 1984.

BBPT, 2002

- halaman ini sengaja dikosongkan -

LAMPIRAN - F

Analisis Statistik

Dalam suatu penelitian sangat diperlukan analisis statistik untuk menyimpulkan hasil eksperimen. Teknik analisis yang cocok adalah ANOVA (*Analisis of Variance*). Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui interaksi antar variabel dan pengaruhnya terhadap suatu perlakuan. Pada penelitian ini akan dilakukan uji ANOVA jenis *one way*. *One way* ANOVA digunakan jika suatu eksperimen mempunyai satu variabel terikat dan satu variabel bebas. Uji dalam hal ini adalah variabel bebas adalah media (pecahan genteng dan *bioball*) dan variabel terikatnya adalah waktu detensi misal pada 24 jam. Hasil dari uji ini adalah jika

$P\text{-value} > 0,05 \rightarrow H_0$ diterima (varian adalah sama)

$P\text{-value} < 0,05 \rightarrow H_0$ ditolak (varian adalah beda)

Sehingga dapat ditarik sebuah kesimpulan / nilai probabilitas (signifikasi), misal jika $P\text{-value} > 0,05$ menghasilkan kesimpulan varian sama atau tidak menunjukkan perbedaan yang jelas/signifikan. Pada penelitian ini yang akan diuji adalah removal parameter utama (COD, fosfat, TSS, Kekerusuhan) dalam setiap perlakuan waktu detensi., apakah terdapat perbedaan yang signifikan. Uji ANOVA ini menggunakan *Microsoft Excel*. Hasilnya adalah sebagai berikut :

1. Parameter COD

No	% Removal COD			
	Waktu Detensi 24 Jam		Waktu Detensi 48 Jam	
	Bioball	Pecahan Genteng	Bioball	Pecahan Genteng
1	42,86	72,73	90,00	90,24
2	58,33	90,00	87,10	90,91
3	66,00	86,67	89,36	93,33
4	38,89	57,14	84,00	89,80
5	79,31	87,27	92,50	94,59
6	81,97	88,71	88,00	93,04
7	71,43	85,90	86,11	92,50
8	89,31	90,77	92,31	93,33

a. COD Waktu detensi 24 jam

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Bioball	8	528,10	66,01	333,49		
Pecahan Genteng	8	655,25	81,91	139,78		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1010,41	1	1010,41	4,27	0,06	4,60
Within Groups	3312,92	14	236,64			
Total	4323,33	15				

b. COD Waktu detensi 48 jam

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Bioball	8	709,38	88,67	8,78		
Pecahan Genteng	8	737,75	92,22	2,91		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	50,33	1	50,33	8,61	0,01	4,60
Within Groups	81,80	14	5,84			
Total	132,13	15				

2. Parameter Fosfat

No	% Removal Fosfat			
	Waktu Detensi 24 Jam		Waktu Detensi 48 Jam	
	Bioball	Pecahan Genteng	Bioball	Pecahan Genteng
1	21,67	21,63	70,27	78,51
2	6,61	47,42	92,61	95,70
3	99,91	91,90	94,05	98,74
4	99,49	95,77	91,01	92,18
5	97,92	91,80	70,11	83,50
6	92,60	87,89	64,38	71,91
7	59,61	73,71	95,24	96,34
8	96,40	99,44	94,79	85,02

3. Parameter TSS

No	% Removal TSS			
	Waktu Detensi 24 Jam		Waktu Detensi 48 Jam	
	Bioball	Pecahan Genteng	Bioball	Pecahan Genteng
1	4,65	83,72	87,80	69,77
2	44,44	40,00	82,86	71,05
3	86,30	67,86	89,23	79,10
4	65,52	52,38	97,44	97,96
5	35,71	3,85	97,67	96,30
6	98,42	94,29	84,85	80,00
7	82,50	67,39	96,67	96,67
8	84,85	73,68	97,00	91,35

4. Parameter Kekeruhan

No	% Removal Kekeruhan			
	Waktu Detensi 24 Jam		Waktu Detensi 48 Jam	
	Bioball	Pecahan Genteng	Bioball	Pecahan Genteng
1	95,52	96,57	97,59	96,49
2	99,04	98,89	98,15	97,59
3	98,70	99,13	99,27	98,41
4	97,33	97,30	98,65	98,78
5	99,39	99,52	99,60	99,19
6	99,82	99,52	99,59	99,61
7	99,20	98,35	98,72	98,78
8	99,56	99,31	99,34	98,71

a. Fosfat Waktu detensi 24 jam

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Bioball	8	574,21	71,78	1455,49		
Pecahan Genteng	8	609,56	76,19	765,94		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	78,10	1	78,10	0,07	0,79	4,60
Within Groups	15550,02	14	1110,72			
Total	15628,12	15				

b. Fosfat Waktu detensi 48 jam

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Bioball	8	733,52	91,69	38,25		
Pecahan Genteng	8	682,19	85,27	136,81		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	164,64	1	164,64	1,88	0,19	4,60
Within Groups	1225,41	14	87,53			
Total	1390,05	15				

a. TSS Waktu detensi 24 jam

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Bioball	8	502,40	62,80	1022,09		
Pecahan Genteng	8	483,17	60,40	807,41		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	23,12	1	23,12	0,03	0,88	4,60
Within Groups	12806,50	14	914,75			
Total	12829,62	15				

b. TSS Waktu detensi 48 jam

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Bioball	8	733,52	91,69	38,25		
Pecahan Genteng	8	682,19	85,27	136,81		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	164,64	1	164,64	1,88	0,19	4,60
Within Groups	1225,41	14	87,53			
Total	1390,05	15				

a. Kekeruhan Waktu detensi 24 jam

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Bioball	8	788,56098	98,57012	2,105408		
Pecahan Genteng	8	788,59226	98,57403	1,204863		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	6,11673E-05	1	6,12E-05	3,7E-05	1,00	4,60
Within Groups	23,17	14	1,66			
Total	23,17	15				

b. Kekeruhan Waktu detensi 48 jam

Anova: Single Factor

Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Bioball	8	790,91	98,86	0,52		
Pecahan Genteng	8	787,56	98,45	0,96		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,70	1,00	0,70	0,95	0,35	4,60
Within Groups	10,41	14,00	0,74			
Total	11,11	15,00				

LAMPIRAN - G

Perhitungan Kebutuhan Oksigen (O₂)

Kebutuhan oksigen dihitung untuk menentukan spesifikasi aerator yang akan digunakan pada reaktor, sehingga suplai udara tercukupi untuk proses metabolisme organisme. Perhitungan kebutuhan oksigen teoritis adalah sebagai berikut ;

- COD yang dihilangkan = 1000 mg/L
- Debit air limbah = 67,1 L/hari
- Beban COD yang dihilangkan = debit x COD yang dihilangkan
= 67,1 L/hari x 1000 mg/L
= 67100 mg/hari
= 0,0671 kg/hari

- Faktor keamanan $\pm 1,5$ (Said, 2005)
- Kebutuhan oksigen teoritis = $1,5 \times 0,0671 \text{ kg/hari}$
= 0,10065 kg/hari

- Berat jenis udara (25⁰ C) = 1,1725 kg/m³
- Konsentrasi O₂ Bebas = 21%

- Kebutuhan oksigen =
$$\frac{0,0671 \text{ kg/hari}}{1,1725 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times 0,21 \frac{\text{g O}_2}{\text{g udara}}}$$

= 0,2725 m³/hari

- Efisiensi diffuser = 2,5 %
- Kebutuhan udara aktual =
$$\frac{0,2725 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,025}$$

= 10,9 m³/hari
= 0,454 m³/jam
= 454 L/jam

- Spesifikasi *air pump* yang digunakan
 - Merk = RESUN Aerator
 - Model = AC – 9908
 - Power = 10,5 watt
 - Air flow = 1200 L/jam
 - Jumlah cabang = 8 cabang

Sumber : Said, 2005

- halaman ini sengaja dikosongkan -

LAMPIRAN - H

Perhitungan *Organic Loading Rate* - OLR

Menurut Metcalf dan Eddy (2003), *Organic loading rate* pada reaktor dapat dihitung menggunakan rumus :

$$L_{org} = \frac{QS_o}{V_n}$$

Dimana :

L_{org} = organic loading rate (kg COD/m³.hari)

Q = debit influen (m³/hari)

S_o = konsentrasi COD influen (kg COD/m³)

V_n = volume efektif reaktor (m³)

Pada proses aerobik *Trickling Filter* mempunyai kriteria desain sebagai berikut :

PARAMETER	TRICKLING FILTER STANDAR	TRICKLING FILTER (HIGH RATE)
Beban Hidrolik m ³ /m ² .hari	0,5 - 4	8 - 40
Beban BOD kg/m ³ .hari	0,08 - 0,4	0,4 - 4,7
Jumlah Mikroorganisme (kg/m ³ .media)	4,75 - 7,1	3,3 - 6,5
Stabilitas Porses	Stabil	Kurang Stabil
BOD Air Olahan	≤ 20	Fluktuasi
Nitrat dalam Air Olahan	Tinggi	Rendah
Efisiensi Pengolahan	90 -95	+ 80

Sumber : Gesuidou Shisetsu Sekkei Shishin to Kaisetsu, Nihon Gesuidou Kyoukai (Japan Sewage Work Association), 1984.

BBPT, 2002

sedangkan menurut Sasse (1998), kriteria desain OLR pada biofilter anaerobik adalah maksimal 4 kg BOD/m³.hari.

typical values	aerobic pond	maturation pond	water hyacinth pond	anaerobic pond	anaerobic filter	beffled reactor
BOD ₅ kg/m ³ *d	0.11	0.01	0.07	0.3-1.2	4.00	6.00
BOD ₅ removal	85%	70%	85%	70%	85%	85%
temperature optimum	20°C	20°C	20°C	30°C	30°C	30°C

Perhitungan OLR pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- BOD air limbah = 300 mg/L
- S_o = 300 BOD mg/L x 10⁻⁶ kg/10⁻³ m³
= 0,3 BOD kg/m³

- Debit air limbah (Q) = 67,1 L/hari
= 0,0671 m³/hari
- Volume efektif reaktor = 67,1 L
= 0,0671 m³

$$L_{org} = \frac{0,0671 \times 0,3}{0,0671} = 0,3 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

LAMPIRAN - I

Rancangan Unit Pengolahan Sederhana Limbah *Laundry*

Pada penelitian ini, reaktor yang telah dijelaskan pada BAB 3 di desain dengan kapasitas limbah *laundry* untuk satu unit mesin cuci. Hasil survey di tempat pengusaha *laundry* dan penjual mesin cuci adalah sebagai berikut

- Mesin cuci memiliki beragam ukuran dari 5 kg hingga 15 kg.
- Kapasitas yang tertera pada mesin cuci yang dimaksud adalah sebagai berat basah (cucian + air).
- Kebanyakan mesin cuci yang dipakai pada usaha *laundry* adalah dengan kapasitas 6-8 kg.
- Rata-rata *laundry* mematok berat dan harga cucian per 5 kg.
- Rata-rata 1 kali mesin cuci dipakai sebanyak 4 kali perhari.

Dengan hasil survey pada penjual mesin cuci tersebut didapat bahwa bila berat cucian adalah 5 kg maka air yang ditambahkan pada mesin cuci adalah maksimal yang 3 liter pada mesin cuci 8 kg.

Namun, ketika dilakukan sampling langsung pada mesin cuci pada usaha *laundry*, air limbah yang dihasilkan oleh dua unit mesin cuci yang bersamaan dijalankan adalah rata-rata 30 liter. Dengan kata lain 1 kali proses pencucian menghasilkan air limbah 15 liter.

Hasil penelitian ini menunjukan dengan :

Debit limbah : 60 L/hari

Waktu tinggal : 24 jam (minimal)

Debit reaktor : 42 mL/menit

BOD in : 300 mg/L

COD in : 1000 mg/L (rata-rata)

COD removal : 82,40 % (rata-rata pada 24 jam menggunakan media pecahan genteng)

Beban COD dalam air limbah : 60 L/hari x 1000 mg/L = 60 kg/hari

COD removal : 82,40 % x 60kg/hari = 49,44 kg/hari

Volume pecahan genteng yang telah dipakai = 5,1 liter

Maka ditetapkan beban COD per volume media adalah

$$= \frac{\text{COD Removal}}{\text{volume media}} = \frac{49,44 \text{ kg/hari}}{5,1 \text{ L}} = 9,69 \text{ kg COD/L/hari}$$

HLR : 0,6 m³/m².hari

OLR : 0,3 kg BOD/m³.hari

Pada lampiran ini akan dihitung desain reaktor yang digunakan untuk pengolahan limbah *laundry* menggunakan hasil penelitian pada tugas akhir ini. Desain reaktor yang akan dijelaskan adalah untuk 2 dan 5 mesin cuci yang secara komersil banyak digunakan pada usaha *laundry*. Desain akan mengacu pada nilai HLR (beban hidrolis) dan OLR (beban organik) kriteria desain. Media yang digunakan adalah media pecahan genteng yang dalam penelitian ini efektif menurunkan kandungan organik pada air limbah.

❖ Untuk 2 mesin cuci

Debit limbah : 120 L/hari

Waktu tinggal : 24 jam (minimal)

Debit reaktor : 83 mL/menit

Volume efektif : 79 L

Ukuran reaktor

Panjang : 70 cm

Lebar : 40 cm

Tinggi : 40 cm

HLR : 0,9 m³/m².hari

OLR : 0,46 kg BOD/m³.hari

❖ Untuk 5 mesin cuci

Debit limbah : 300 L/hari

Waktu tinggal : 24 jam (minimal)

Debit reaktor : 0,3 mL/menit

HLR : 1,37 m³/m².hari

OLR : 0,45 kg BOD/m³.hari

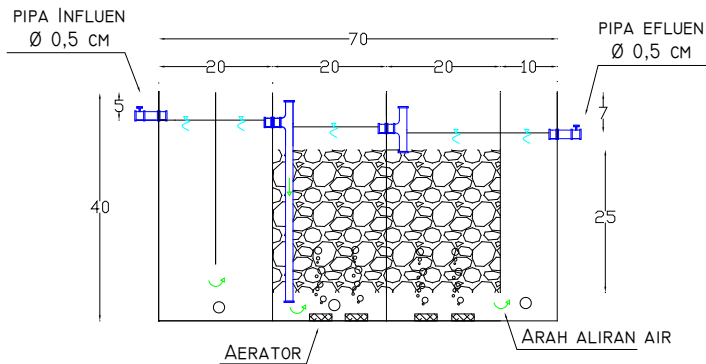
Ukuran reaktor

Panjang : 80 cm

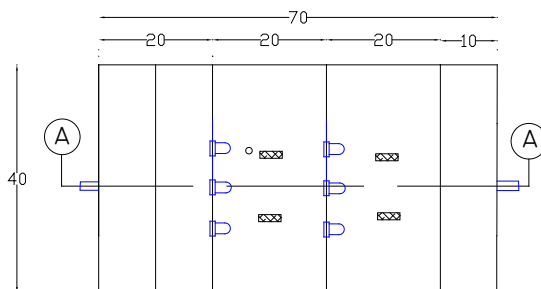
Lebar : 60 cm

Tinggi : 60 cm

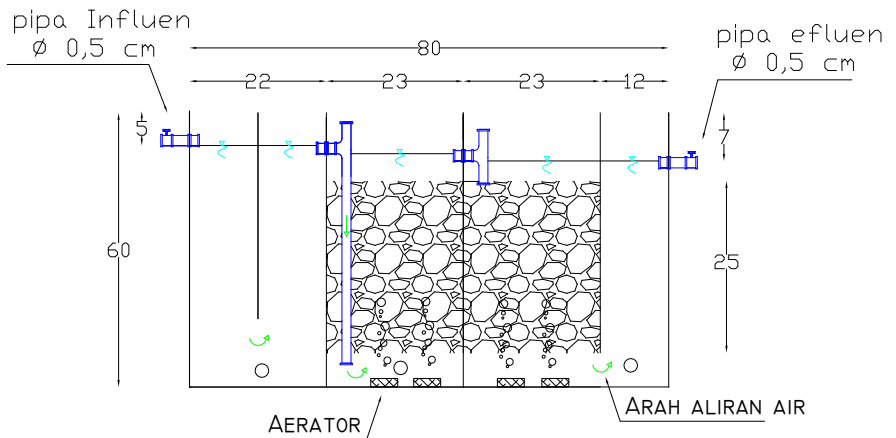
Untuk denah dan potongan masing-masing rancangan dapat dilihat pada gambar berikut ini :



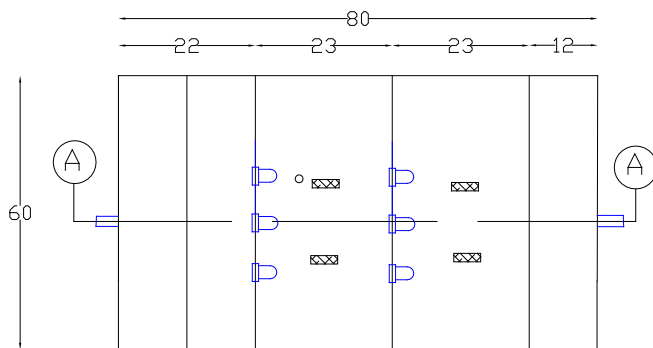
DENAH REAKTOR BIOFILTER AEROB - 2 MESIN CUCI
TANPA SKALA - UKURAN DALAM CM



DENAH REAKTOR BIOFILTER AEROB - 2 MESIN CUCI
TANPA SKALA - UKURAN DALAM CM



DENAH REAKTOR BIOFILTER AEROB - 5 MESIN CUCI
TANPA SKALA - UKURAN DALAM CM



DENAH REAKTOR BIOFILTER AEROB - 5 MESIN CUCI
TANPA SKALA - UKURAN DALAM CM

perhitungan dimensi

[illegible]

BIOGRAFI PENULIS



Eko Pamungkas dilahirkan di Jombang Jawa Timur, 26 Juni 1993, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK PERTIWI Kedung Turi Gudo, SD Negeri Japanan 1 Gudo, SMP Negeri 1 Gudo, dan di SMA Negeri 3 Jombang (tahun 2008-2011) di kelas reguler.

Setelah lulus SMA (tahun 2011), penulis diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) melalui Jalur Undangan dan terdaftar dengan NRP 3311100013.

Selama kuliah di ITS, penulis aktif menjadi anggota Himpunan Jurusan, menjadi panitia program kerja himpunan dan menjabat sebagai staff aktif Komunitas EEEEC (*Environmental Engineering English Club*) – HMTL ITS (kepengurusan 2012/2013 dan 2013/2014).

Selain di himpunan jurusan, penulis juga aktif di Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Badminton ITS. Selama di UKM Badminton ITS, penulis menjabat sebagai staff Keaktifan Keanggotaan UKM (kepengurusan 2012/2013) dan menjabat sebagai Bendahara Umum UKM Badminton ITS (kepengurusan 2013/2014).

Selain itu penulis menjadi Asisten Laboratorium Mata Kuliah Mikrobiologi Lingkungan selama 3 periode berturut-turut pada tahun 2013-2015. Penulis mengikuti Kerja Praktik selama 2 bulan di Pertamina Refinery Unit V Balikpapan pada bagian *Safety-Section HSE RU V (Health, Safety and Environment)*.

Kritik dan saran untuk penulis dapat melalui *e-mail* dengan alamat pamungkas.eko@gmail.com. Terima kasih semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat.

<http://pamung.wordpress.com>